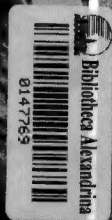
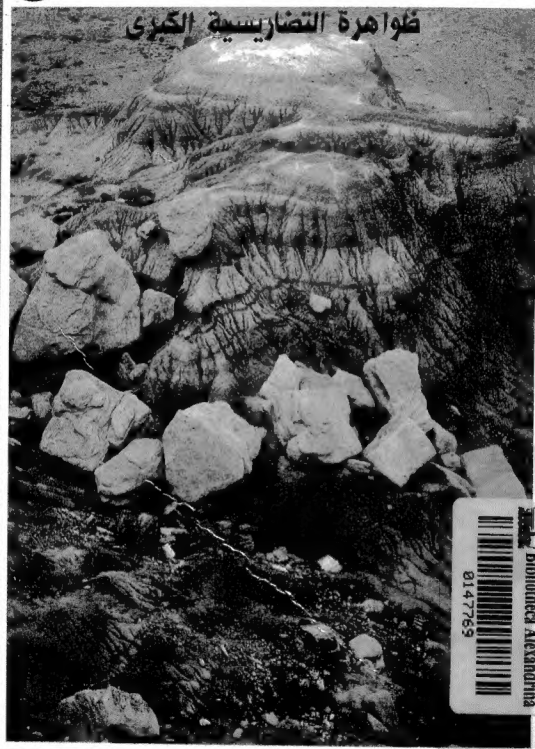


# كوكب الأرض

ظواهر التضاريسية الكبرى



مؤسسة الثقافة  
طريق مصر من القاهرة  
القاهرة

مكتبة  
حسن سيد أحمد أبو العنين



# كوكب الأرض

ظواهره التضاريسية الكبرى

تأليف

دكتور

حسن سيد أحمد أبو العينين

.M. A., Ph. D ., Sheffield Univ. ( U . K. )

رئيس قسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة الاسكندرية ( سابقاً ) .

أستاذ الجغرافيا الطبيعية - جامعة الكويت

الطبعة الحادية عشرة.

١٩٩٦

( معدلة تعديلاً شاملاً )

مؤسسة الثقافة الجامعية  
للطبع والنشر والتوزيع

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمؤلف والناشر وأية محاولة لتصوير  
هذا الكتاب أو نشره أو اقتباس جزء منه دون إخطار المؤلف وموافقة خطياً  
على ذلك ستعرض صاحبها للمساءلة القانونية .

الطبعة الحادية عشرة

١٩٩٦

( معدلة تعديلاً شاملاً )

رقم الإيداع :

مؤسسة الثقافة الجامعية

للطبع والنشر والتوزيع

٤٠ شارع د. مصطفى مشرفة - الاسكندرية

ت : ٤٨٣٥٢٢٤

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سَبَّحَ لِلَّهِ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْحَكِيمُ ① لَهُ مُلْكُ  
السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ يُحْيِي وَيُمِيتُ وَهُوَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ②  
هُوَ الْأَوَّلُ وَالْآخِرُ وَالظَّاهِرُ وَالْبَاطِنُ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ③ هُوَ  
الَّذِي خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ فِي سِتَّةِ أَيَّامٍ ثُمَّ اسْتَوَى عَلَى الْعَرْشِ  
يَعْلَمُ مَا يَلْجِ فِي الْأَرْضِ وَمَا يَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنْزِلُ مِنَ السَّمَاءِ وَمَا يَعْرُجُ  
بِهَا وَهُوَ مَعَكُمْ أَيْنَ مَا كُنْتُمْ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ بَصِيرٌ ④ لَهُ مُلْكُ  
السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَإِلَى اللَّهِ تُرْجَعُ الْأُمُورُ ⑤

صدق الله العظيم

سورة الحديد - الآيات (١ - ٥)

## تقديم الطبعة الأولى

نجح الانسان في اواخر عام ١٩٦٩ بغضل بناء سفن الفضاء وباستخدام التقنيات الحديثة الوصول الى القمر وجمع بعض عينات من صخوره وتربته . و أعلن انسان هذا العصر بذلك بداية عهد جديد لاكتشاف اسرار الفضاء وبقية كواكب الكون . وإن كان الانسان قد أقدم على القيام بهذه المغامرة الكبرى فلم يكن ذلك بقصد غزو الكواكب الأخرى واحتلالها ، أو اعلان حالة الحرب على من قد يكون فيها ، بل ليدرك أولا المزيد من المعلومات التي قد تفسر له نشأة كوكب الأرض الذي يعيش على سطحه وتسهل له استغلال أرضه وتربيته ، وبحاره وبحيراته ، وغاباته وأنهاره وغلافه الغازي في بناء دعائم الحضارة البشرية وتطورها . ومن ثم فإن موضوع هذا الكتاب هو العناية بدراسة كوكب الأرض وعلاقاته ببقية كواكب المجموعة الشمسية ، وتحليل الظواهر التضاريسية الكبرى التي تشكل سطح هذا الكوكب ومعرفة نشأتها وتوزيعها الجغرافي ، حيث إنها تمثل المسرح الطبيعي الذي يعيش فيه الانسان

ويتألف هذا الكتاب من أربعة أبواب ، يختص الباب الأول منها بدراسة كواكب المجموعة الشمسية . وايضاح العلاقة بينها وبين كوكب الأرض الذي نعيش على سطحه . ويناقش هذا الباب الافتراضات والنظريات - قديمها وحديثها - التي رجحت لتفسير نشأة كوكب الأرض وبقية كواكب المجموعة الشمسية . وقد عنى هذا الباب بايضاح بعض المعلومات الجيولوجية والفلكية الخاصة بالقمر وذلك نتيجة للمعلومات والبيانات الهائلة التي استطاع الانسان جمعها بعد نزوله على سطح القمر في أغسطس عام ١٩٦٩ . وبذلك أصبح علم الجيولوجيا لا يقتصر على دراسة الأرض وصخورها فقط ، بل فتح الانسان صفحة جديدة في كتاب علم جديد هو الجيولوجيا الكونية Astrogeology . ويناقش الباب الأول من هذا الكتاب كذلك الأغلفة الكبرى التي يتكون منها كوكب الأرض لما لها من أثر كبير في تحديد العوامل التي تشكل مظهر سطح الأرض وظواهره الكبرى .

ويعرض الباب الثانى لخصائص المواد التى تتألف منها قشرة كوكب الأرض والتى تؤدى الى تنوع أشكال الظواهر التضاريسية الكبرى .

وتتألف هذه المواد من المعادن والصخور ، ومن ثم يعالج هذا الباب كيفية تمييز أنواع المعادن والصخور طبيعيا ، والعوامل المختلفة التى تؤدى إلى نشأة مجموعات الصخور وبناء القشرة الأرضية .

وإن كان الباب الثاينى قد اهتم بدراسة المادة المكونة لقشرة الأرض فإن الباب الثالث يعالج تشكيل مادة قشرة الأرض بالقوى المختلفة . وهذه الأخيرة يمكن تمييزها بالقوى الداخلية التى تحدث فى باطن الأرض مثل الزلازل والبراكين وحركات الثنى والطى والتصدع والقوى الخارجية التى تحدث فوق سطح الأرض بمساعدة الغلاف الجوى والثنى تتلخص فى أثر فعل التجوية ، وعوامل التعرية النهرية والبحرية والهوائية والجليدية .

أما الباب الرابع فيعرض للقارئ تبانين التوزيع الجغرافى لليابس والماء من زمن جيولوجى الى آخر ، وبعض النظريات التى قدمها الباحثون لتفسير هذا التباين . كما يتضمن هذا الباب دراسة الكتل القارية المستقرة القديمة جيولوجيا وايضاح مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة من سطح كوكب الأرض . كما يشتمل هذا الباب كذلك على دراسة موضوعية لبعض الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض وخاصة السلاسل الجبلية والهضاب والسهول والجزر .

وقد زود الكتاب بعدد كبير من الأشكال التوضيحية واللوحات الفوتوغرافية حتى يسهل على القارئ فهم ما جاء بالكتاب فى سهولة ويسر . والمؤلف إذ يتقدم بهذا الكتاب يرجو أن يكون قد حقق الغاية والقصود من هذه الدراسة ، كما يرجو بآى نقد أو توجيه من السادة الزملاء الذين يتولون تدريس موضوع سطح الأرض وظواهره التضاريسية فى الجامعات والمعاهد العليا ، وغيرهم ممن يهتمون بتقديم المعرفة فى هذا العلم .

هدانا الله الى طريق النجاح والله وحده ولى التوفيق .

المؤلف

بيروت فى أول يناير سنة ١٩٧٠

### الطبعة الثانية

يسعد المؤلف أن يقدم الطبعة الثانية من هذا الكتاب بعد نفاذ جميع نسخ الطبعة الأولى منه في أقل من عام واحد ، وإن كان لذلك من فضل بعد كرم من الله عز وجل فإنه يرجع الى القارئ العربى الذى قدر المجهود الذى بذل فى عمل هذا الكتاب .

وفقنا الله الى ما فيه الخير ، وعلى الله قصد السبيل .

### المؤلف

سوتير - الاسكندرية فى اول يناير سنة ١٩٧١ .

### الطبعة الثالثة

تتضمن الطبعة الثالثة من هذا الكتاب بعض النقاط التوضيحية لاجزاء من محتويات الطبعة الثانية السابقة ، هذا الى جانب بعض الاضافات التى تضمنت حركة دوران الأرض ، وحركات توازن القشرة الأرضية ، وعلاقاتها بالحركات التكتونية الكبرى وأنواع البحيرات ودراستها جيومورفولوجيا .

والله ولى التوفيق .

### المؤلف

سوتير - الاسكندرية فى يناير ١٩٧٤

### الطبعة الحادية عشرة

عرض المؤلف فى هذه الطبعة الجديدة لدراسة الكون وعناصره ، وإيضاح العلاقات المتبادلة بين كوكب الأرض وبقيّة كواكب المجموعة الشمسية والنجوم والمجرات والسدم . كما اهتم المؤلف بإضافة بعض النقاط المهمة التى تختص بدراسة المعادن والصخور وتزويد الكتاب بصور فوتوغرافية لمجموعاتها المختلفة وعرض الكاتب فى هذه الطبعة الجديدة لنظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية ، ولتفسير التوزيع الجغرافى

للباس والماء في ضوء مفاهيم هذه النظرية الجديدة . وسعى المؤلف كذلك إلى اضافة الكثير من الخرائط والاشكال والرسوم التوضيحية لتيسير فهم ما جاء في الكتاب في سهولة ويسر ويأمل المؤلف أن يكون الكتاب في صورته الجديدة - المعدلة تعديلاً شاملاً - أكثر منفعة عما كان عليه من قبل .

والله وحده ولى التوفيق .

المؤلف

سوتير - الاسكندرية في سبتمبر ١٩٩٥



## الباب الأول

# كوكب الأرض ونشأته

الفصل الأول : كوكب الأرض والمجموعة الشمسية .

الفصل الثاني : نشأة كوكب الأرض .

الفصل الثالث : الأغلفة الكبرى التي يتألف منها كوكب الأرض .



## الفصل الأول

# كوكب الأرض والمجموعة الشمسية

### الإنسان والكون :

كوكب الأرض الذى نعيش فوق سطحه ، والذى يبهرنا ويزيد حيرتنا بالظواهرات التضاريسية التى تشكل هذا السطح ، وكيفية توزيع مسطحاته المائية واليابسة ، وحدث الحركات التكتونية التى تتولد فى باطنه ، وإنبثاق المصهورات اللاهية التى تعمل مظهر سطحه ، ما هو فى الحقيقة إلا كوكب صغير من كواكب المجموعة الشمسية التى يتوسط مركزها جميعا النجم الكبيرالأم إلا وهو الشمس .

ويبلغ قطر الشمس نحو ٨٦٠ ألف ميل وتقدر كتلتها بنحو ٣٢٢,٠٠٠ مثلا لكتلة الأرض ، وهى شديدة الحرارة جدا بحيث تضىء نفسها ولا تستمد أى ضوء من كوكب آخر .

ويحيط بنجم الشمس عشرة كواكب سيارة هى كواكب المجموعة الشمسية حيث أنها جميعا ترتبط بجاذبية الشمس وتدور حولها من الغرب إلى الشرق بسرعة تتراوح من ٢ إلى ٣٠ ميل فى الثانية . وبعد كل من هذه الكواكب صغير الحجم جدا إذا ما قورن بحجم كتلة الشمس ( شكل ١ ) وتشمل كواكب المجموعة الشمسية ما يلى :

عطاردMercury والزهرة Venus والأرض Earth والمريخ Mars والكويكبات Asteroids والمشتري Jupiter وزحل Saturn وأورانوس Uranus ونبتون Neptune وبلوتو Pluto

ولم يعرف سكان كوكب الأرض أفراد المجموعة الشمسية إلا بعد مجهولات مضنية من الأبحاث الفلكية ، ولا يزال الكثير من خبايا الفضاء الكونى لا يعرفه العلم الحديث الوضعى حتى اليوم . وحتى أيام جاليليو ( ١٥٦٤ - ١٦٤٢ ) لم يكن يعرف العلماء من كواكب المجموعة الشمسية سوى تلك القريبة من الأرض أو الأخرى الكبيرة الحجم . ونجح الفلكيون

في اكتشاف كوكب اورانوس في عام ١٧٨١ وكوكب نبتون في عام ١٨٤٦ ،  
وكوكب بلوتو في عام ١٩٣٠ .

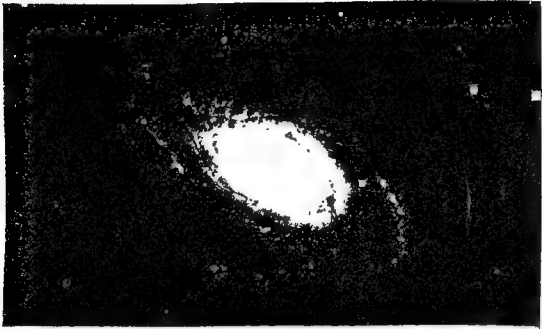


شكل (١) اختلاف أحجام كواكب المجموعة الشمسية

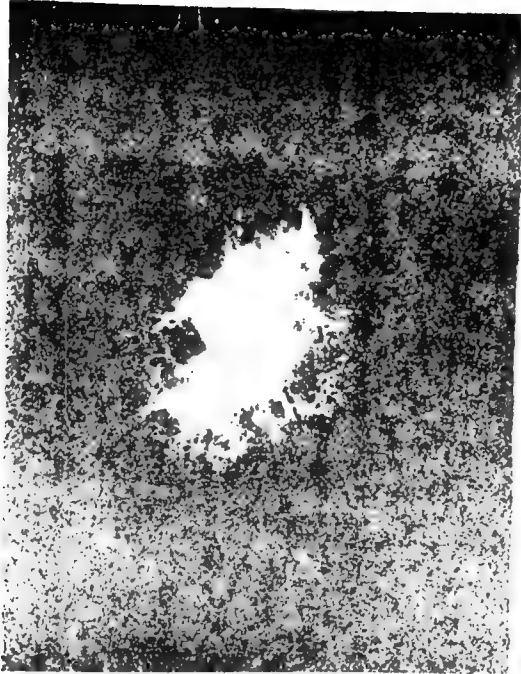
وظل علماء الفلك يعتقدون لفترة طويلة بأن الفضاء الكوني يتألف أساساً من الكواكب الكبيرة الحجم والتي تحيط بنجم الشمس الكبير . ولكن في عام ١٨٠١ تم كشف النقاب عن كويكب ثانوي ، أطلق عليه اسم سيريس Ceres ، ويقع مركزه فيما بين مدار كوكبي المريخ والمشتري . وتبعاً لتطور أجهزة الرصد الفلكية سرعان ما اكتشف الباحثون بأن هناك ما يزيد عن ٢٠٠٠ كويكب من هذه الكويكبات الصغيرة الحجم وتقع جميعها فيما بين مداري المريخ والمشتري . ويبلغ متوسط قطر كويكب سيريس ( الذي يعد أكبر مجموعة الكويكبات حجماً ) نحو ٥٠٠ ميل في حين يبلغ المتوسط العام لقطر كل من هذه الكويكبات نحو عشرة أميال فقط .

وقد أسهمت التقنيات الحديثة وأجهزة الرصد المطورة في كشف النقاب عن كثير من أنواع السدم في الفضاء الخارجي مثل سديم المرأة المسلسلة Andromeda وسديم السرطان البحري Carb Nebulae .

( شكل ٢ أو شكل ٣ )



( شكل ٢ ) السديم الحلزوني أو اللولبي ( بعد سدم للنواة المسلسلة )  
لاحظ شدة توضع مركز السديم ، في حين برزت بعض اجزائه وكونت آلاف من  
الأجسام الكونية الصغيرة الحجم .



( شكل ٣ ) سديم السرطان المحرق ( الكاوبوديا ) ويعد شكته العام إلى اختلاف  
وردة أجزاء هذا السديم الغازي الهائل الحجم - لاحظ الأجسام الباردة نسبياً من أجزاء  
السديم والتي تعد المراحل الأولية لتكوين الكواكب .

ويتألف الفضاء السماوى من نجوم وكواكب وكويكبات ، وفيما يلى حديث موجز عنها مع الاشارة الى نجم الشمس وكوكب الأرض وقمرها وكواكب المجموعة الشمسية بشيء من التفصيل .

### أولا : النجوم والكواكب والكويكبات :

تختلف النجوم Stars عن الكواكب Planets فى انها عبارة عن كتلة غازية هائلة الحجم متوهجة وتضئ نفسها داخليا أو ذاتيا كما أن بعضها أكثر لمعانا وأشد ضياء من نجم الشمس ، وذلك تبعا لمقدار الطاقة الحرارية والشمسية المنبعثة والمشعة من الكتلة الغازية الهائلة لكل نجم منها . وتتناثر النجوم فى القبة السماوية على شكل مجموعات رسم خيال الإنسان إشكالها وأعطاهما أسماء مشتقة من الأساطير الإغريقية مثل كوكبات الحبيبات الجبار ( أوريون ) والشقيقات أو البئات السبع ( نجوم الثريا ) (١) . وتسبح بعض مجموعات النجوم فى الفضاء فى مسارات تقع

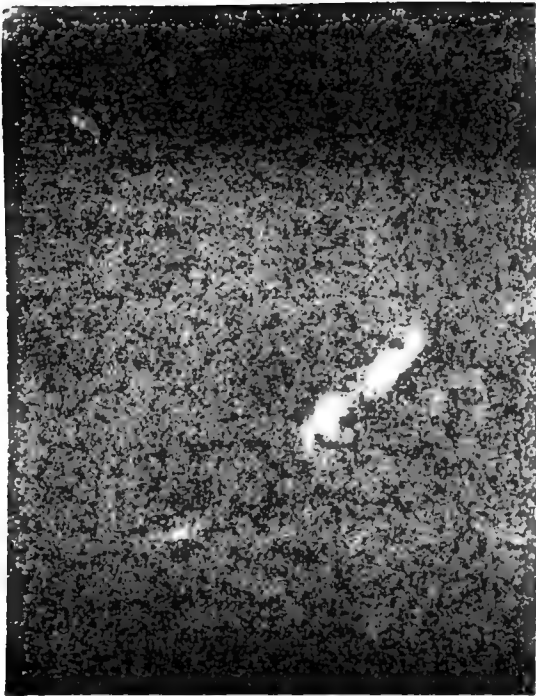
(١) كان العلماء العرب يعرفون علم الفلك بأسماء حسب تخصص كل فرع من فروعها وما تتناوله بالدراسة ، فكان هناك علم الهيئة وعلم التنجيم وعلم النجوم وعلم أحكام النجوم وعلم الأفلاك وعلم الزيجات والتقويم . وأشار الفارابى إلى أن علم النجوم يشتمل على قسمين أحدهما هو علم دلالات الكواكب على المستقبل والآخر العلم التعليمى للنجوم . وفى الرسالة الثالثة من رسائل اخوان الصفا وخلان الوفا ، ميز أصحابها من الفلاسفة المسلمين ثلاثة علوم فلكية هى : تركيب الأفلاك واقسام البروج ( علم الهيئة ) وعلم الزيجات وعلم التقويم وعلم الأحكام . وأشار ابن سينا إلى مضمون علم الهيئة على أنه العلم الذى يختص بدراسة أفلاك النجوم . ومن أشهر الكتب العربية الفلكية القديمة ، كتاب ( فى جوامع علم النجوم ... ) لأحمد بن كثير الفرغانى المتوفى فى النصف الثانى من القرن الثالث الهجرى ، وكتاب ( المجسطى ) لأبى الوفاء البهزجى المتوفى سنة ٤٤٠ هـ ، وكتاب ( الزيج الصابى ) لمحمد بن جابر البتاني ، وكتاب ( الكواكب والمصور ) لأبى الحسين بن عمر الصوفى المتوفى سنة ٣٧٦ هـ . د. محمد محمود محمدين : التراث الجغرافى الإسلامى ، دار العلوم - الرياض ، الطبعة الثانية . ( ١٩٨٤ ) ص. ٨٣ - ٩٣ .

ضمن إطار فلك أو دائرة البروج Zodiac التي تمثل للمسار السنوي الظاهري للشمس حول القبة السماوية ، والتي تعني « حديقة حيوانات » ، وسميت المجموعات النجمية الاثنتي عشرة في هذه الدائرة بأسماء حيوانات . ولكثير من الكوكبات Constellation ومجموعات نجوم دائرة البروج نجم واحد الأقل يعد أشد لمعانا عن غيره من النجوم الأخرى في كوكبته ، فنجـم منكب الجوزا Betelgeuse ونجم رجل الجبار اليسرى Rigel هما أشد النجوم لمعانا في كوكبة الجبار Orion ، وكذلك نجم الدبران Aldebaran في كوكبة الثور Taurus ونجم الشعرى اليمانية Sirius في كوكبة الكلب الكبير Cains Major ، ونجم النسر الواقع Vega في كوكبة القيثارة Lyra ونجم آخر النهر Achenar في كوكبة النهر Eridanus

وتتجمع المجاميع النجمية داخل سحابة فضائية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات Galaxis والتي تتباعد فيما بينها ( بما فيها من ملايين النجوم ) بمسافات تقاس بالآلاف السنين الضوئية والناظر إلى القبة السماوية نهائراً لا يرى مجموعات النجوم المختلفة في السماء ويحجب بريق الشمس وضوؤها الساقط على الأرض لمعان النجوم ، وليس ذلك لأن ضياء الشمس ولمعانها أقوى من ضياء النجوم ، بل لأن الشمس هي أقرب نجم إلى الأرض ، وأن النجوم الأخرى تقع على مسافات بعيدة جداً عن الأرض . أما أثناء الليل وحين تبدو السماء بلونها الداكن فتتأللاً النجوم في السماء وتشع ضوءها الخافت الباهت على سطح الأرض ، ويرى الناظر بعض مجاميعها ومواقعها المختلفة في السماء بالعين المجردة ( شكل ٤ ) .

#### مدى البعد بين النجوم :

وإذا كانت شمسنا تبعد عن الأرض بنحو ٨,٥ دقيقة ضوئية فقط فإن اقتراب نجم إلينا ( غير الشمس ) يقع على بعد ٤ سنوات ضوئية أي نحو ٣٦ بليون كم ( ٢٣,٥ بليون ميل ) . أما النجوم الأخرى البعيدة فإنها تقع على مسافات هائلة تقاس بمئات وآلاف السنين الضوئية (١) .



( شكل ١ ) ١ - القبة السماوية في شهر سبتمبر ( اتجاه النظر شمالاً )

ب - القبة السماوية في شهر سبتمبر ( اتجاه النظر جنوباً )

ويوضح الجدول الآتي أقرب النجوم إلى الشمس .

النجم	الكوكبة التابع لها	المسافة بالسنوات الضوئية
رجل الجبار Alpha Centauri	قنطورس Centaurus	٤,٣
نجم برنارد Barnard Star	الحواء Ophiuchus	٦,٠
ولف ٣٥٩ Wolf359	الأسد Leo	٧,٦
لalande21185	الدب الأكبر Ursa Major	٨,١
الشعرى اليمانية Sirius	الكلب الكبير Canis Major	٨,٧

مواقع النجوم :

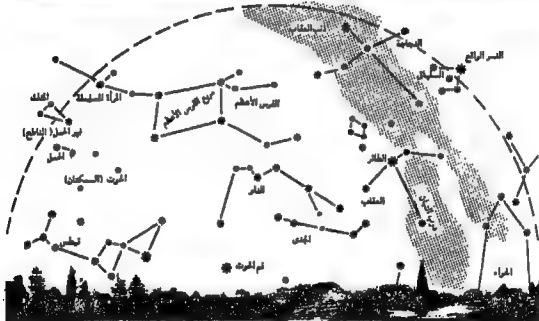
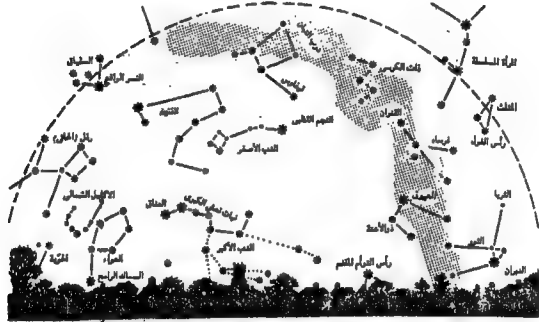
وتبدو النجوم في مواقعها في الفضاء وكأنها ثابتة وتتجمع في مجموعات متجاورة ، ويحزى ذلك إلى أن الناظر إليها من سطح الأرض يشاهدنا من موقع واحد . ويميز العلم الحديث بما أتاحت له من وسائل وتقنيات مطورة أن يحدد الأبعاد الفعلية لكثير من مجموعات النجوم ، بل إن هناك أيضاً الكثير من النجوم التي لا يعرف عنها العلم شيئاً حتى الوقت الحاضر ، ولم يستطع الفلكيون رؤيتها حتى باستخدام ما ابتكره العلماء من أكبر المراصد الفلكية (شكل ٥) .

ألوان النجوم :

وتختلف النجوم فيما بينها من حيث ألوانها التي تبدو بها عند ظهورها في القبة السماوية . فبعض النجوم تبدو حمراء اللون مثل نجم ولف ٣٥٩ - Wolf359 وهو ثالث أقرب إلى الشمس ويقع في كوكبة

(1) Ian Ridpath, "Illustrated dictionary of astronomy" Longman & Librairie du Liban (1987) P.95.

القبة السماوية في شهر سبتمبر ( اتجاه النظر شمالا )



القبة السماوية في شهر سبتمبر ( اتجهاء النظر جنوبا )

( شكل ٥ ) المجموعات النجمية الرئيسية في السماء الجنوبية ( النجوم الواقعة داخل الدائرة المقطعة هي التي يمكن رؤيتها على مدار السنة ) .

الأسد Leo، ونجم منكب الجوزاء Betelgeuse فى كوكبة الجبار Orion، وأعجوبة قيطس Mira وهو النجم الأحمر الرائع فى كوكبة قيطس، ونجم قنطورس القريب Proxima Centauri وهو أقرب النجوم إلى الشمس من نجوم كوكبة قنطورس ( رجل الجبار )، ويبدو ضياء بعض النجوم الأخرى باللون الأبيض أو اللون الأزرق الذى يميل إلى البياض مثل نجم رجل الجبار Rigel وهو سابع أسط. نجوم السماء، والنسر الواقع Vega وهو خامس أسطع نجوم السماء فى كوكبة القيثارة Lyra، ونجم الشعرى اليمانية Sirius فى كوكبة الكلب الكبير Alfa Canis Major فى حين يظهر نجم السماك الرامح فى كوكبة العواء Bootes بلون يميل إلى الأصفرار (١).

وتعطى شمسنا من الضوء ما قوته ٢٠٠ مليون شمعة ونجم الشعرى اليمانية يعطى من الضوء نحو ٢٦ مثلاً لقوة ضوء الشمس، ومن النجوم الأخرى ما يعطى من الضوء ٥٠٠,٠٠٠ مثل لضوء الشمس أى أنها تشع فى الدقيقة الواحدة مقدار ما تشعه الشمس من أشعة ضوئية فى عام كامل. وعلى فرض أن مثل هذه النجوم الأخيرة حلت محل شمسنا لثى جعلها الله النجم المباشر لكوكب الأرض، لانصهر كوكب الأرض من شدة الحرارة الساقطة عليه، وتبخرت كل مياه ومواده (٢).

وقد نجح الفلكيون فى تحليل ضوء النجم إلى طيف ضوئى باستخدام « مطياف الضوء » Spectroscope. ففى حالة النجوم ذات اللون الأبيض المائل إلى الزرقا يكون لمعان الطرف الأزرق فى طيف الضوء شديداً للغاية بخلاف ما هو عليه الحال فى النجم الأصفر اللون. ودراسة الخطوط السوداء المختلفة فى أطراف أضواء النجوم ذات الألوان المختلفة (٣) تمكن العلماء من معرفة الكثير عن أنواع الغازات التى تتألف منها النجوم

(1) Malin D, and Murdin P., " Colours of the Stars " Cambridge Univ.Press (1984).

(٢) د. أحمد زكى : مع الله فى السماء، دار العلم - بيروت (١٩٨٢م) ص ١٧٨.

(٣) ١- للرجوع السابق، ص ١٨٠.

b - Zeilik et al, "Introductory to Astronomy ..." Saunders Colleg Publ. N.Y (1992).

ومقدار التفاعل بينها وبين الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة منها . وقد اتضح للعلماء أن أعلى طاقة حرارية وضوئية هي تلك المنبعثة من النجوم البيضاء المائلة إلى الزرقة ، وأدناها قوة هي تلك المنبعثة من النجوم الحمراء اللون (٣) .

وحيث أن كل جسم يحترق ويتولد عنه طاقة ، يتناقص حجمه ، إلا أن العلماء قد تبين لهم أن التناقص في حجم النجوم يعد بسيطاً جداً بالنسبة لكتلتها الهائلة ، وإن ما نسبته ١٪ فقط من كتلة الأندروجين في النجم السماوي يكفي لبقائه مضيئاً ومشتعلاً وساطعاً بنفس قوته لمدة تزيد على ٣٠٠ مليون عام .

#### لمعان النجوم :

وتختلف درجة لمعان النجوم وشدة ضيائها إما تبعاً لمدى بعدها عن الأرض ( آلاف ومئات الآلاف من السنين الضوئية ) أو بسبب الاختلاف في أحجام النجوم وكتلتها ومقدار الأشعة الضوئية للشعة منها . ومن بين أظهر النجوم لمعانا ( أو التماعاً ) في السماء تلك المعروفة باسم الشعرى اليمانية Sirius في كوكبة الكلب الكبير Canis Major ، والنجم سهيل Conopus في كوكبة Carinae ، ورجل الجبار Centauri في كوكبة قنطورس Centaurus ، ونجم السعك الرامح Arcturus في كوكبة العواء Bootes كما يتضح في الجدول الآتي (١) :

وإذا كانت العين المجردة يمكن لها أن تشاهد أكثر من ٢٠٠٠ نجما مرصع في سماء ليلة صافية ، فإن الفلكي يمكن له أن يشاهد في الوقت نفسه أكثر من ألف مليون نجم بواسطة المقرّب الفلكي المطور . ويستقبل كوكبنا الأرضي الأشعة الضوئية من نجم الشمس ومن بقية النجوم

(1) a - Ian Ridpath, " Illustrated dictionary of astronomy " Longmen & Librairie du Liban (1987) P.92

b - Collier's Encyclopdia , Vol (7) N.Y. (1991) P.47-52.

c - Tayler, R.T., " Galaxies ..." Cambridge Univ. Press (1993) P.20

درجة السطوع الظاهري	الكوكبة	النجم
١٤٦ -	CANIS MAJOR الكلب الكبير	SIRIUS الشعرى اليمانية
٠٧٢ -	CARINAE كاريني	CONOPUS سهيل
٠٢٧ -	CENTAURUS قنطورس	Alpha centauri رجل الجبار
٠٠٤ -	BOOTES البواء	ARCTURUS السماك الراسخ
٠٠٣ +	LYRA القيثارة	VEGA الشعر الواقع
٠٠٨ +	AURIGA ذو الأربعة	Capella الحميرق
٠١٢ +	ORION الجبار	RIGEL رجل الجبار
٠٣٨ +	CANIS MINOR الكلب الصغير	PROCYON الشعرى الشامية
٠٤٠ +	ERIDANUS النهر	ACHENAR آخر النهر
٠٥٠ +	ORION الجبار	BETELGEUSE منكب الجوزاء
٠٦١ +	CENTAURUS قنطورس	Beta centauri الوزن
٠٧٧ +	AQUILA العقاب	ALTAIR النسر الطائر
٠٨٥ +	Taurus الثور	Aldebran الثيران
٨٧ +	CRUX الصليب الجنوبي	Alpha Crucis نور نجم
٠٩٦ +	SCORPUS العقرب	ANTARES قلب العقرب
٠٩٨ +	VIRGO العذراء	SPICA السماك الأحرول ( السيلة )

الأخرى في السماء ، وإن كانت تقع بعيدة جداً عن الأرض . وينبعث من هذه النجوم نور أزرق يميل إلى البياض وأتوار أخرى صفراء أو حمراء اللون وإشعاعات فوق البنفسجية Ultra violet rays وأخرى تحت الحمراء ( ١ ) Infrared rays .

(1) Robert, T. Dixon, "Dynamic Astromonomy" 5th edi Prentice Hall, New Jersey (1989).

ويخطر للناظر إلى النجوم في السماء أنها ثابتة ظاهرياً في مواقعها ، بينما أن كلا منها في الحقيقة يسبح في مداره الخاص المحدد له ، ويتحرك من برج إلى آخر في الفضاء . فائتاء الليل يمكن مشاهدة حركة النجوم ، خصوصاً مجموعة الدب الأكبر URSA MAJOR حول نقطة مركزية في السماء تقع قريبة من مواقع النجم القطبي الشمالي POLARIS ومع دوران الحركة المحورية اليومية للأرض يشاهد الناظر النجوم في السماء ساعة بعد أخرى من مواقع مختلفة على الأرض .

أما مع دوران الأرض في حركتها الانتقالية حول الشمس فيشاهد الناظر مجموعات النجوم في مواقع مختلفة في القبة السماوية حسب مواقع الأرض في مدارها في كل شهر من شهور السنة . كما أن الناظر إلى النجوم في نصف الكرة الشمالي يشاهد السماء الشمالية North Sky وفي نصف الكرة الجنوبي يشاهد السماء الجنوبية South sky وقسم علماء الفلك منذ القدم النجوم التي تسبح في الفضاء إلى مجموعات عرفت باسم الكوكبات . وقد ميز العلماء أكثر من ٢٨ كوكبة نجمية تقع في السماء الشمالية في نصف الكرة الشمالي و ٤٩ كوكبة نجمية تقع في السماء الجنوبية في نصف الكرة الجنوبية . وتشاهد ١٢ كوكبة حول الدائرة الكسوفية Ecliptic Circle التي تمثل المسار السنوي الظاهري للشمس حول القبة السماوية ، وتعرف باسم الكوكبات البروجية Zodiac ، ويمكن مشاهدة هذه الكوكبات في أي مكان من سطح الأرض في أوقات ظهورها في أبراجها (١) .

ويمكن مشاهدة برج الثور Taurus عند النظر إلى القبة السماوية جنوباً في أحد ليالي شهر ديسمبر ، بينما يشاهد الناظر نجوم برج الجوزاء Gemini ( التوأمان ) عند النظر في اتجاه الجنوب في ليالي فبراير ، وتكون نجوم برج الثور قد انتقلت غرباً . وفي ليالي شهر مارس تكون

---

(1) Theodore, P. Snow "The Dynamic Universe" West Publishing Company (1991), P.37.



( شكل ٦ ) الأبراج الفلكية ورموزها

نجوم برج الأسد leon واقعة في جنوب القبة السماوية ( شكل ٦ ) .

وقد تبين للعلماء مؤخراً أن بعض النجوم المنفردة هي في الواقع نجوم مزدوجة . فنجم العناق مثلاً ( النجم الثاني في كوكبة بنات نعش الكبرى ) يعد نجماً مزدوجاً Double Star يتكون من النجم الرئيسي وهو العناق وتوأمه الثانوي الأصغر حجماً وهو « السهي » . وتدور النجوم الثنائية الشديدة التقارب حول بعضها البعض بسرعة كبيرة جداً . وكثيراً ما تحدث عمليات الكسوف النجمي بين كل من نجمين يقعان في مدارين متقاربين .

## أحجام النجوم :

يضم الفضاء السماوى نجوماً عملاقة الحجم Giant Star وأخرى قزمة الحجم Dwarf Star نسبياً ، كما شاهد العلماء عبر المراقب الفلكية نجوماً تتور لتهدأ وأخرى تهدأ لتثور ، وهو ما يطلق عليه اسم النجوم النابضة Pulsating Stars . وتبدو هذه النجوم الأخيرة ساطعة لامعة تارة ، ثم تبدو خافتة أو قائمة تارة أخرى . وفسر العلماء هذه الظاهرة الفريدة فى تتابع لمعان النجوم وقيامتها إلى طبيعة دورة ثورات المواد الغازية المكونة لجوف هذه النجوم . واكتشف العلماء كذلك حدوث عمليات انفجار فى بعض النجوم وتفتت أجزاء منها وانقسامها ، ومن ثم تولد وظهور نجوم جديدة صغيرة الحجم منها ، وتهوى بقايا مفتتات النجوم فى البحر السماوى الهائل الامتداد .

## المجاميع النجمية والمجرات والسدم :

يشاهد الناظر إلى القبة السماوية ليلاً مجموعات من النجوم معاً كأنها عنقيد من العنب يجاور بعضها بعضاً ، ومن أظهرها وأسهلها للرؤية مجموعة نجوم الثريا Pleiades التى تظهر عالية فوق كتف الجبار Orion وتقع فى كوكبة الثور Tauri . ويشاهد الناظر إليها بالعين المجردة سبعة نجوم متلاكنة ويطلق عليها اسم الشقيقات السبع-The Seven Sisters . بينما يشاهد العالم الفلكى بواسطة المرقب الفلكى المطور فى الوقت نفسه أكثر من ٥٠٠ نجماً لامعاً فى مجموعة الثريا تبدو متقاربة فيما بينها إلا أن المسافة الفاصلة بين كل نجم وآخر فيها أطول من المسافة الفاصلة بين الشمس وكوكب الأرض بهضخ مئات المرات . وتبدو نجوم الثريا متقاربة فيما بينها للناظر إليها بالعين المجردة ، وذلك تبعاً لبعدها المسافة بينها وبين الأرض والتى تصل إلى نحو ٣٠٠ سنة ضوئية (١) .

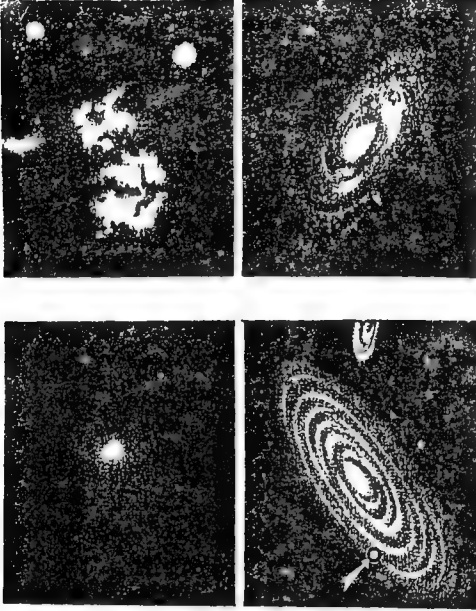
وتسمى المجاميع النجمية حسب شكل تجمعاتها ، فعنها المجاميع النجمية المفتوحة ، وتلك النحلية ( كما فى كوكبة السرطان ) والمزدوجة ( فى كوكبة فرساوس ) التى تقع بالقرب من مجموعات ذات الكروسي

كاسيوييا Cassiopeia كما تظهر في السماء سحابة نجمية هائلة الحجم ،  
تتخذ شكل خصلة طولية من الضوء ، مكفهرة ويختلف اتساعها من جزء  
إلى آخر إسمائها علماء الفلك قديما باسم « سكة اللبن » The Milky Way  
(٧) ( شكل ٧ ) ، لأنها تبدو للنظار إليها في السماء على شكل طريق أو  
مجرى من الحليب يقطع الفضاء السماوي . وبعد استخدام المراصد الفلكية  
المطورة عرف العلماء أن سحابة سكة اللبن تتألف من بلايين البلايين من  
النجوم .

---

(1) Theodore, P. Snow, "the Dynamic Universe" West Publishing Company  
(1991),32.

(٢) ( سكة اللبن ) هي سحابة غازية هائلة الحجم تقطع الفضاء السماوي على شكل شريط  
يمتد من أفق إلى أفق تسبح فيه بلايين النجوم وشبهها شعراء العرب ببياض ماء النهر  
في سواد الأرض فاسموها « بالمجرة » أي النهر الجاري ، في حين شبهها عامة العرب  
بسكة التبانة « أو درب التبانة . والقيان إذا سلك طريقا سقط من تبت بعضه ، فانتثرت  
الطريق ، فالمجرة أو درب التبانة عند العلماء هي كطريق في السماء بالتبن منتثر . وشبهها  
الإغريق باللبن المسكوب ، فسموها « طريق اللبن » .  
ومجموعتنا الشمسية عبارة عن جزء بسيط جداً من سكة التبانة التي تمتد على شكل  
قوس مفلطح وقطرها ( ١٠٠,٠٠٠ سنة ضوئية ) يبلغ مقداره عشرة أمثال مسكها وتقع  
كواكب المجموعة الشمسية والشمس معها على بعد ٣٠ ألف سنة ضوئية من مركز مجرة  
سكة التبانة . واجمع : د. أحمد زكي : « مع الله في السماء » ، دار القلم - بيروت  
( ١٩٨٢م ) ، ص ٣٢٧ - ١٩٥ .



( شكل ٧ ) أنواع من السدم :

- ١ - السديم الحلزوني
- ٢ - سديم السرطان البحري
- ٣ - مجرة درب التبانة ويظهر السهم إلى مواقع للمجموعة الشمسية
- ٤ - التجمع النجمي الكروي في كوكبة القوس

وتتجمع المجاميع النجمية داخل مجموعة أو مدينة نجمية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات Galaxies. وقد تتكون مجرات هائلة الحجم ، وكثيرة العدد داخل سحباب غازية سديمية . فقد تبين أن سحابة السنبلة تضم أكثر من ألف مجرة (١) . ويقاس قطر المجرة الواحدة بمئات آلاف السنين الضوئية ، وتتراوح المسافة بين مجموعة نجمية وأخرى داخل المجرة الواحدة من ١ إلى ٣ مليون سنة ضوئية ، وأن المسافة بين مجرة وأخرى قد تصل إلى أكثر من ٢٠٠ مليون سنة ضوئية . وتتألف المجرة الواحدة من عدد لا حصر له من النجوم ، ويتراوح متوسط عددها من عدة مئات إلى عدة ملايين وأحيانا إلى تريليون نجم . ويشاهد في كثير من المجرات - كما هو الحال في درب التبانة - سحب سديمية تسبح في داخل المجرات وحولها (٢) . (شكل ٨) .

ومجرتنا - درب التبانة - هي عضو في تجمع يعرف باسم المجموعة المحلية والعضو الرئيسي الآخر في المجموعة هو المجرة « م ٣١ » وهي المجرة الكبرى في كوكبة المرأة المسلسلة وهي أقرب المجرات إلينا ، إذ تبعد عن مجرة درب التبانة بنحو ٧٠٠ ألف سنة ضوئية . والعضو البارز في هذه المجموعة هو المجرة « م ٣٣ » التي تقع في كوكبة المثلث . ويبلغ عدد ما اكتشفه علماء الفلك من المجرات المحلية حتى اليوم ١٩ مجرة تحتل رقعة من الفضاء الكوني يصل طولها إلى أكثر من مليون بارسك (٣) . وتقع مجرتنا وسديم المرأة المسلسلة في جانبيين متقابلين من المركز .

---

(١) - فرد هويل - المرجع السابق ، ص ٣٢٥ - ٣٣٣ .

البارسك : وحدة قياس أبعاد النجوم ويبلغ ١٩,٢٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ميل .

(2) Encyclopedia Americana, vol. 7p.81.

b - Covington M.A. , "Astrophotography" Cambridge Univ . Press .

(1991) P.68.



(شكل ٨) السديم الحلزونية الشكل في الفضاء السماوي ونجوم النجوم .

وفي السماء مجرات بعيدة جداً عن الأرض بصورة تفوق الخيال البشرى ، وينبعث من هذه المجرات أشعة ضوئية خافتة ، ذلك لأنها تبعد عن الأرض بنحو  $19,200,000,000,000,000$  ميل ) ، ومن بينها مجرة السحابة المجلانية Magellanic Cloud ومجرة قنوق العذراء Virgo Cluster وهي من أرقى الحشود المجرية القريبة إلينا وتشتمل على نحو ٢٥٠٠ مجرة داخلها (١) .

وقد صنف الفلكيون شكلين رئيسيين من المجرات هما :

#### (١) المجرات اللولبية أو الحلزونية الشكل : Spiral Galaxies

ويتراوح قطر المجرة الواحدة منها من ١٥٠,٠٠٠ إلى ١٥٠,٠٠٠ سنة ضوئية ، وتزداد اتساعاً في القسم الأوسط منها بينما يقل اتساعها عند أطرافها . وتتوالد الكثير من النجوم الجديدة في المجرات ، ومن بينها النجوم الجديدة القصيرة العمر ، الشديدة اللمعان ، والتي تسهل عملية رصدها باستخدام المراصد الفلكية المطورة نظراً لوقوعها عند أطراف المجرة . ويحيط بالنواة الوسطى في مركز المجرات اللولبية إنتفاخ نووي أسطواني الشكل هائل الحجم ويصل قطره إلى نحو نصف قطر قرص المجرة نفسها (١) . ويقع فيما وراء هذه النواة المنتفخة الوسطى وخارج قرص المجرة مجموعات نجمية تبدو على شكل إكليل أو هالة كروية Spherical halo أو تجمعات لمناظير نجمية Star Clusters أو نجوم منفردة Individual Stars . وإلى جانب المجرات اللولبية ، يبدو شكل بعضها مزججاً barred ، حيث يتרכب ذراع المجرة في هذه الحالة من نجوم مصفوفة ومتراصة في حزام مستقيم الامتداد ، يصل امتداده إلى مركز المجرة

(1) a - Jacqueline and Simon Mitton. "Discovering Astronomy" Stoneheuge (1982), P.40.

b - Robert T. Dixon, "Dynamic Astronomy", th edi, Prentice Hall, New Jersey (1989), P.9.

(٢) فرد هويل - المرجع السابق - ص ٢٢٧ .

(3) Time Life Book - Amesterdam "Computers and Cosmos" .P.7.

نفسها أو قد يتكرر ويختلف على شكل حلقة دائرية حول الحزام الطويل للمجرة<sup>(١)</sup> . ومن بين أشهر المجرات اللولبية الشكل مجرة سيفرت - Seyfert Galaxy التي ينطلق منها غازات ساخنة جداً بسرعة فائقة . (شكل ٩٠)

## (٢) المجرات الإهليلجية أو البيضاوية الشكل: Elliptical Galaxies

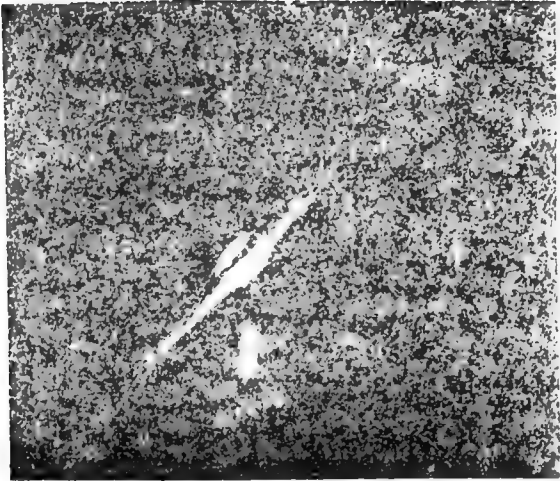
تتميز المجرات الإهليلجية الشكل بأن مجموعات نجومها تتناسق في أشكال هندسية رائعة ومنتظمة الشكل ، فمنها ما هو كروي أو شبه كروي الشكل ومنها ما هو عنقودي الشكل . كما تختلف هذه المجموعة من المجرات من حيث حجمها ، فبعضها عملاقة ذات حجم هائل - وهي نانية - Giant ellipticals ومنها ما هو فائق العملاقة مثل مجرة س . د . C.D. Galaxy ، ويصل اتساعها إلى بضع مئات الآلاف من السنين الضوئية ، وبعضها الآخر قزمة الحجم Dwarf Ellipticals لا يزيد طولها على عدة عشرات أو مئات من السنين الضوئية . ولم يستطع علماء الفلك تحديد العوامل التي أدت إلى تعدد أشكال المجرات .

وقد ميز الفلكيون كذلك مجموعة نادرة الحدوث من المجرات ذات أنماط متباينة فمنها ما يتصف بعدم انتظام الشكل Irregular مثل مجرة S. D. Galaxy التي ليس لها أذرع جانبية طويلة ومجرة C.D. Galaxy شبه الإهليلجية فائقة العملاقة<sup>(٢)</sup> .

ويحتل هذا النوع من المجرات القسم الأوسط من سحابة المجرات المتجمعة . وبعض المجرات عديمة الشكل "Lenticular Galaxies" وبعضها ينبعث منها كميات عالية من الأشعة فوق البنفسجية ( مثل المجرة المركزية Markarian ) أو ينبعث منها أمواج راديوية هائلة الحجم ( مثل المجرات الراديوية Galaxy Radio ومنها مجرة الدجاجة Cygnus ) . ويرجح العلماء أن نشأة هذه المجرات قد تعزى إلى أثر اصطدام أو احتكاك

(١) Lang K.R., and Whitney, C.A. "Wanderers in Space" Cambridge Univ. Press (1991) P.80.

(٢) د. حسن أبو المينين ، ( كوكب الأرض ) ، الطبعة المأخرة ( ١٩٨٩/٨٨ ) ، ص ٦ - ٧ .



( شكل ٩ ) مجرة المرأة المسلسلة ( الدروميدا ) وهو مجرة سديمية ضخمة ولولابية  
الشكل والقرب للجرات إلى درب التمام وتقع على بعد ٢ مليون سنة ضوئية من الأرض

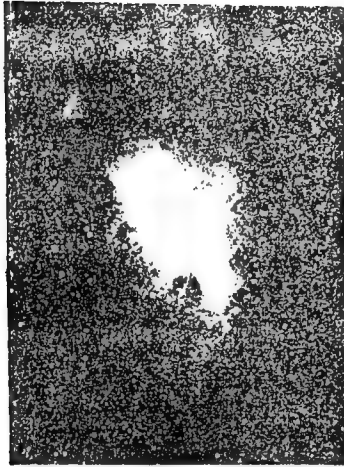
بعض المجرات مع بعضها الآخر وقد تبين أن نواة مجموعات المجرات النشطة تحتوي على مجموعة غير عادية من المجرات ذات نشاط نووي هائل تظهر فيها الكثير من النجوم الشديدة اللمعان والتي تقع بعيداً في الفضاء الكوني (١) .

وينتشر في الفضاء السماوي أحجام هائلة من الغبار والغازات الساخنة ، ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة كما هو الحال في مجموعة كوكبة « سيف الجبار » . وعند دراستها باستخدام الرقبة الفلكي ، أكد العلماء إنها تتألف أساساً من غازات ساخنة تنتمي لما يعرف باسم السدم الغضائية الغازية الساخنة Nebulae .

وقد استعان العلماء بالمطياف الضوئي Spectroscope عند دراسة السدم ، وتبين لهم أن الضوء القادم من سديم الجبار هو عبارة عن بقعة متوهجة من الغازات المشتعلة ، وتتوهج نرات هذا السديم بتأثير الأشعة الضوئية الساقطة عليها من نجوم أخرى مجاورة له . وقد اكتشف العلماء أعداداً كبيرة من السدم ، وخصوصاً في سحابة درب التبانة ، وكذلك في بقية السماء الجنوبية . وبالقرب من نجم الصليب الجنوبي يشاهد سديم غازي هائل الحجم في شكل الكمثرى يعرف باسم سديم غرارة أو جراب الفحم Coal Sack Nebulae (٢) .

ومن بين أشهر السدم في الفضاء الكوني السديم اللولبي Spiral التابع لمجموعة المرأة للسلسلة Andromeda وسديم السرطان البحري ( الكابوريا ) Crab Nebulae والسدم للوهجة Luminous والسديم الحلقي Ring Nebulae في كوكبة الشلياق ( القيثارة ) وسديم العنكبوت Tarantula Nebulae في سحابة مجلان الكبرى ، والسديم الحجاب Veil Nebul في كوكبة الدجاجة ( شكل ١٠ ) . وتعرض الأجزاء الهامشية من السديم اللولبي للبرودة التدريجية ويتولد عنه ملايين

(1) Smart, W . M. " The Origin Of the Earth " A Pelican Book (1950) p.32.



( شكل ١٠ ) سديم المجاني - سديم إيتزاني في كوكبة الدجاجة كما يراه تلسكوب

مرصد " ليك " Lick

النجوم التي يندلع الضوء منها في الفضاء بسرعة ١٨٦,٠٠٠ ميل / ث .  
وقدر العلماء طول المسافة بين السديم اللولبي وكوكب الأرض بنحو  
٩٥٠,٠٠٠ سنة ضوئية ، في حين يبعد سديم السرطان البعري بنحو  
٤٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض . ويفسر هذا البعد الهائل بين مجموعة  
السدم وكوكب الأرض أسباب تكوين السدم بأحجام هائلة كذلك . فيبلغ  
قطر السديم اللولبي أكثر من ٣٠٠ ألف سنة ضوئية . وقد أوضح بعض  
الباحثين (١) أن هذا السديم ربما يقع قريباً من مركز الفضاء الكوني ، إلا  
أن العلم الوضعي لا يستطيع أن يصل إلى حقائق يقينية في هذا الشأن ،  
بل هو يقدم مقترحات ظنية تتغير مفاهيمها من زمن إلى آخر ، ولا يدرك  
العلم حتى يومنا هذا ، ما يقع وراء السدم في هذا الفضاء الكوني السحيق  
المجهز .

---

(1) Long, K.R., and Whitney, C.A., " Wanderers in Space ", Cambridge Univ. Press (1991)p.34.

## ثانياً : الشمس :

تعد الشمس نجماً وسطاً بين نجوم الكون ، فهي متوسطة الحجم ، ذلك لأنها ليست من النجوم العملاقة كما أنها ليست من النجوم القزمة الحجم كذلك ، وهي متوسطة أيضاً من حيث مقدار ضوئها وحرارتها ، وتعرف فلكنها بالنجم فوق القزمى G.2 (١) . ويبلغ قطر الشمس ١,٣٩٢,٠٠٠ كم ( قطر الأرض ١٢٧٥٦ كم ) ، أى نحو ١٠٩ مثل لقطر الأرض . وتبعد الشمس عن الأرض بنحو ١٥٠ مليون كم وهي تعادل ٨٠ بقية ضوئية فقط . فى حين أن أقرب نجم إلى الشمس يبعد عنها بنحو أربع سنوات ضوئية . ويمجى الإنسان عن النظر إلى الشمس بالعين المجردة لفترة طويلة فهي تكاد تخطف الأبصار ، وينظر علماء الفلك إليها عن طريق استخدام آلات خاصة ومناظير فلكنية مطورة .

وترجع بداية الدراسة العلمية للشمس منذ أن اخترع جاليليو G.A.L.I. والنظار الفلكى المكبر ، وشاهد به الشمس ودرس القمر ثم أكمل دراساته من بعده كل من جوهان فابريسيون J. Fabricius وكريستوف شينر C. Scheiner وتوماس هارويو T. Harriot فى القرن السابع عشر الميلادى . وقد رصد هؤلاء العلماء البقع الشمسية Sun Spots التى ترى فى قرص الشمس ، واهتموا بدراستها ومعرفة أسباب حدوثها ، وأكد العالم الفلكى صمويل شواب S.H. Schwabe فى عام ١٨٤٢ م أن البقع الشمسية تختلف فيما بينها حجماً وشكلاً خلال دورة يستغرق طولها عشر سنوات ، ثم عدل البطول الزمنى لهذه الفترة فيما بعد لتصبح كل ١١,٢ سنة . ولاحظ العلماء أن البقع الشمسية تتمركز عند بداية دورتها على سطح قرص الشمس ( المُنْتَهَد ) Facula ، فيما بين دائرتى عرض الشمس ٣٠ شمالاً وجنوباً ، ثم تتجه البقع الشمسية صوب خط الاستواء عند نهاية دورتها . وفى بداية القرن التاسع عشر ربط العلماء بين حدوث التفجرات الفجائية فى العواصف المغنطيسية Magnetic Storms التى تصيب

الأرض وبين دورات حدوث البقع الشمسية

### البقع الشمسية : Sun Spots

بعد اختراع منظار التحليل الطيفي (الاسبكتروسكوب) Spectro Scope في عام ١٨٧٠م اكتشف العلماء خطوطاً سوداء اللون في الضوء المنبع من البقع الشمسية دلالة على وجود مركبات من جزيئات غازية مختلفة . وتبين أن تقطع امتداد هذه الخطوط وعدم استمرار امتدادها إنما يرجع إلى حدوث الثورانات الغازية الشمسية Gaseous Eruptions بالقرب من مركز تجمع البقع السوداء . ونتيجة لحدوث هذه الثورانات تنفلق الستة نارية متوهجة تغطف البصر Flares في حين أن البقع السوداء نفسها تعد أبرد منها نسبياً ، وتتبقى الغازات من المراكز السوداء في البقع الشمسية وتتجه إلى هوامشها وأطرافها بسرعة ٢ كم / ث (١) . وتتألف البقع الشمسية من قسمين رئيسيين هما الجوف الداخلي لها القاتم اللون Dark Core ، ويعرف باسم منطقة الظل Umbra ، والجدار الخارجي الغازي المتوهج الذي يحيط هذا الجوف ويعرف باسم منطقة شبه الظل Penumbra وتختلف البقع الشمسية فيما بينها حجماً وشكلاً . ولا يحيط الصغير الحجم منها مناطق شبه الظل ، ويبلغ قطرها بضع مئات من الكيلومترات فقط . أما الكبير الحجم منها فله مناطق شبه ظل تحيط بجوفه الدلائن ، ويزيد حجمه عن حجم كوكب الأرض بعشرات المرات . وعند تجمع مجموعات البقع الشمسية قد يصل حجمها مجتمعاً إلى أكثر من ٢٠٪ من حجم الشمس نفسها . وفي هذه الحالة يمكن مشاهدة البقع الشمسية وقت الغروب بسهولة وبالعين المجردة . والبقع الشمسية السوداء تعد ناكدة اللون بالنسبة لما حولها من غازات ساطعة متوهجة في قرص الشمس الخسوف Photos sphere ، إلا أنها في الواقع أشد حرارة ولعنا وتوهجاً من التونجستون المنصهر Molten Tungsten وتبلغ درجة حرارة البقع الشمسية السوداء نحو ٢٨٠٠ درجة مطلق K (٢) .

(1) a - Encyclopedia Americana, (1993) vol 7 P.506.

(١) الكون : الموسوعة العلمية الحديثة : بيروت ( ١٩٨٠ ) ص ٤٠ .

وتتألف البقع الشمسية من عدة مركبات كيميائية ، فتركيب خطوط الطيف من الكيانوجين Cyanogen وأول أكسيد الكربون ، وهيدرات النيتروجين ، والكربون والأكسجين والمغنيسيوم . ونسبة قليلة من الكالسيوم والسليكون وهيدرات الفلورين والتيتانيوم وأكسيد الزرنيكون .

وللبقع الشمسية السوداء حقول مغناطيسية هائلة القوة ، وتزداد قوتها مع زيادة حجم البقع الشمسية نفسها . فتبلغ قوة الحقل المغناطيسي لكل من البقع الصغيرة الحجم نحو ٥٠٠ جوس (١) ، بينما يزيد قوته في كل من البقع الكبيرة ، ويصل إلى نحو ٤٠٠٠ جوس .

ومن نتائج تحليل الإشعاع الشمسي طيفياً Spectroheliographically في دراسات العالم الفلكي جورج هال G.H. Hale منذ عام ١٨٩١م ، تمكن العلماء من دراسة الأضواء المشعة من تفاعلات الهيدروجين والكالسيوم والأيون ومعرفة الكثير عن الخصائص الفلكية للشمس . وباكتشاف جهاز تسجيل المجال الكهرومغناطيسي الضوئي Photoelectric Magnetograph في عام ١٩٤٨م استطاع العلماء دراسة الحقول المغناطيسية للشمس . ويميز العالم فراونهوفر J.V. Fraunhofer أكثر من ٥٧٤ خطأً من الخطوط السوداء اللون عند تحليله الطيف الشمسي Solar Spectrum . وبعد ذلك استطاع العلماء اكتشاف ٣٩ عنصراً كيميائياً تدخل في تركيب نجم الشمس من أهمها الهليوم والبيريليوم المتحد مع البورون ، والكربون والنيتروجين والأكسجين والفلورين والنيون Neon ولا تتطابق الغازات الشمسية في الفضاء على الرغم من شدة سخونتها وارتفاع درجة حرارتها ، وذلك لأن بلايين بلايين أطنان الغازات التي تتألف منها الشمس تشد بعضها بعضاً وتبقى متماسكة ومتلاحمة على شكل كتل غازية ملتصقة

(١) يعتمد نظام كالفن Kelvin على تحديد الصفر المطلق لدرجة الحرارة المطلقة وهي - ٢٧٣°م وهي جارة عن الدرجة التي تتوقف عندها كل حركة حرارية ، ويتلاشى عندها حجم الغاز نظراً مع لبث الضغط . ويستخدم هذا النظام عند قياس درجة الحرارة الحركية Kinetic temperature راجع : أ.د حسن أبو المينين : « أصول الجغرافيا للناخبة » ، مؤسسة الثقافة الجامعية الإسكندرية - الطبعة السادسة (١٩٨٩م) ص ١٠٧ .

(٢) الجوس Gauss هو وحدة قياس الحقل المغناطيسي ، وتصل قوة الحقل المغناطيسي للأرض ( عند سطحها ) أقل من ١ جوس

## ومستديرة الشكل .

وجعل الله جل وعلا الشمس سراجاً ، ويبدو ضوئها وكأن ليس له لون خاص مميز به ، فهو يشرق ساطعاً ناصع البياض في حين أنه يتركب من جميع الألوان الموجودة في قوس قزح . ويمكن مشاهدة هذه الألوان عند انحلال ضوء الشمس أو اصطدامه بزجاج نافذة أو بمنشور ثلاثي .  
لدى هذه الحالة يمكن مشاهدة اللون الطيف السبعة وهي الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والبنفسجي (١) . ويوضح البيان التالي معلومات عن الشمس وحجمها وسرعتها وطاقتها وكثافتها .

- طول المسافة بين الشمس والأرض ( ٩٧.٩٥٧.٠٠٠ ميل ) ١٤٦.٠٠٠ كم .

- زاوية ميل قطر الشمس ٢٦.٥٩

- قطر الشمس ( ٨٦٤.٩٥٠ ميل ) ١.٣٩٧.٠٠٠ كم

- مساحة سطح الشمس ١٠٧٦.٠٨٧ كم<sup>٢</sup> ( ١٠٧٦.٣٥ ميل<sup>٢</sup> )

( ١٧٠٠ مثل مساحة سطح الأرض )

- كثافة الشمس ١٠ x ١.٩٩ كجم ( ٢.١٩ x ١٠ طن )

( ٣٣٢.٤٠٠ مثل كثافة الأرض )

- سرعة حركة الشمس ٦١٨ كم/ث

- درجة حرارة الشمس ١٤٦١ م إلى ٢٠ مليون م°

- درجة الحرارة للطلاقة ٥.٧٣٠ ك ( كاليفين )

- إجمالي الطاقة الشمسية ٣.٨٦ x ١٠<sup>٣٦</sup> واط / ث

- الإشعاع من سطح الشمس ٦.٣٥ x ١٠<sup>١٦</sup> واط / سم<sup>٢</sup> / ث

- سرعة دوران قرص الشمس ٨.٧٢ x ١٠ ليرت

- الضوء الشمسي مقبلاً بضوء الشمس ٣.١٧ x ١٠<sup>٢٦</sup> شدة

(١) - الكون : د. للوسوعة العلمية المطبوعة ، بيروت ( ١٩٨٠ م ) ، ص ٤٠ .

ب- حسن أبو العيين : من الإعجاز العلمي في القرآن الكريم ، الجزء الأول : مع آيات الله

في السماء - مطبعة الميكان - الرياض ( ١٩٩٦ ) ص ١٤٦ .

## الدوران المحورى للشمس :

( أى الوقت الذى تستغرقه الشمس للدوران حول محورها ) .

- عند خط الإستواء الشمسى ٢٦,٩ يوما

- عند مركز البقع الشمسية ( ٥٦ شمالا وجنوبا ) ٢٧,٢ يوما

- عند القطبين الشمسيين ٣١,١ يوما

باطن الشمس :

- الكثافة ١٥٠ جرام / سم<sup>٣</sup>

- الحرارة ١٥٠ مليون درجة مطلقة K

- الضغط  $10 \times 10^{17}$  باين / سم<sup>٢</sup> (  $10 \times 10^{11}$  جو ) (١)

الشمس هى مصدر الحرارة والضوء على سطح الأرض :

نتيجة للتفاعلات النووية فى باطن الشمس بفعل اشتقاق ذرات الهليوم من ذرات الأيدروجين تتولد الأشعة الحرارية والضوئية الشمسية التى يصيب سطح الأرض جزء منها . وحيث إن كل إشعاع للطاقة لابد أن يصحبه تناقص فى كتلة الجسم المشع ، فمن السهل إذن حساب ما ينقص من الكتلة فى مقابل إشعاع معلوم من الطاقة . ودرج الفلكيون أن كتلة الشمس فى تناقص تدريجى مستمر يقدر بنحو أربعة ملايين طن من غازات الأيدروجين فى الدقيقة الواحدة . وقد يهولنا هذا المقدار حين نقيمه بمعاييرنا الأرضية ، ولكن تبين أن جسم الشمس لم يتأثر كثيراً بهذا التناقص الذى قدرته نسبتته إلى جملة كتلة الشمس بنحو ١ : ١٠,٠٠٠ متر منذ بداية ميلاد كوكب الأرض حتى اليوم (١) . وإن شمسنا يمكن لها أن تحتفظ بصورتها الحالية دون تغيير ملحوظ من حجمها العام لمدة طويلة من الزمن تصل إلى نحو ٣٠ بليون سنة . وتظهر الطاقة الشمسية على

هيئة إلكترون موجب ( بونترون ) ، ويتكون أثناء التفاعلات النووية التي تحدث في باطن الشمس ، ولولا حدوث هذه العمليات وتكوين الطاقة الهائلة المنبعثة من تحويل الأندروجين إلى هليوم لفقدت الشمس قوتها ولصارت نجما خامدا منذ عدة آلاف من ملايين السنين .

والشمس قرص غازي هائل الحجم مضى وتولد الحرارة فيه ذاتيا ، وتنبعث منه الأشعة الحرارية والضوئية في الفضاء السماوي . وظهرت أولى محاولات الإنسان لتسجيل درجة حرارة الشمس في دراسات عالم الفلك جون هرشل J. Herschel في عام ١٩٣٧ م . وقد تبين له أنه عند سقوط الأشعة العمودية على طبقة من المياه سمكها ١,٨ سم فإن درجة حرارة المياه ترتفع ١ م كل دقيقة واحدة . وهناك كذلك عوامل كثيرة تؤثر في ارتفاع درجة حرارة المياه في انخفاضها إلى جانب تأثير الأشعة الشمسية الحرارية . وعلى أي حال تمكن العلماء بعد ذلك من تقدير حرارة الشمس بحساب الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى وحدة المساحات من سطح الأرض خلال الدقيقة الواحدة ، ويمكن قياسها عمليا (١) . فإذا اعتبرنا أن الشمس جسم أسود نصف قطره « نق » فإن الطاقة الإشعاعية التي تنبعث من الشمس في الثانية الواحدة =  $Q \times R \times 4 \times \pi$  ط نق ٢ .

---

(١) أ - د. حسن أبو المينين : أصول الجغرافيا المناخية - الإسكندرية - الطبعة السادسة ، (١٩٨٩ م) ، ص ٧٣ - ٧٦ .  
ب - د. محمد عبدالوهاب ، د. الوحيدي فراج : مبادئ البصريات الطبيعية والاضوئيات والحرارة ، كلية العلوم - جامعة الاسكندرية - مذكرة جامعية (١٩٧٩) ص ٦٠ .

وإذا ما اعتبرنا أن المسافة بين الشمس والأرض تساوى ف ، فإن هذه الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى ١ سم<sup>٢</sup> من سطح الأرض في الثانية الواحدة تساوى :

$$= \frac{Q \times r_s^2 \times \pi \times 10^{-8}}{r_a^2} \times \text{ش} =$$

$$= \frac{Q}{r_a^2} \times r_s^2 \times \pi \times \text{ش} =$$

علما بأن :

ش = معامل انبعاث الإشعاع للمسطح

ر = درجة الحرارة المطلقة .

$$Q = \text{ثابت ويساوى } 1,27 \times 10^{11} \text{ سعر/سم}^2 \text{ / } 5^\circ \text{ درجة } \text{ع}.$$

وتسمى هذه الكمية بالثابت الشمسي Solar Constant ، ويمكن قياسه بتجميع أشعة الشمس داخل خلال أسود من خلال ثقب فيه ، ثم قياس كمية الحرارة المكتسبة بوضع هذا الغلاف في مسعر له المكافئ المائي . وقد تبين أن متوسط قيمة الثابت الشمسي تساوى ١,٩٣٧ سعر / سم<sup>٢</sup> / الدقيقة .

وفي حالة اعتبار معامل انبعاث الإشعاع للمسطح ش = ١ فإن :

$$\text{نق} = 1,97 \times 10^6 \text{ كم}$$

$$\text{ف} = 1,49 \times 10^8 \text{ كم}$$

$$= \frac{1,937}{10} = \frac{1,27 \times 10^{11}}{1,49 \times 10^8} = \frac{2(90 \times 1,97)}{2(80 \times 1,49)}$$

ومن هنا نحصل على أن در درجة الحرارة المطلقة تساوى ٥٧٣٠ مطلقاً تقريباً وقد تبين أن تصيب سطح الأرض من الطاقة الشمسية يبلغ نحو ١ : ٢٠٠٠ بلهون من جملة طاقة الشمس .

وينبعث من الشمس ثلاثة أنواع من الأشعة هي :

أ - الأشعة الحرارية : Thermal rays

وتعرف كذلك باسم الأشعة تحت الحمراء Infra-red rays وهي إشعة غير مرئية لطيف الكهرومغناطيسى . وتنتمى لمجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلة Longer waves ، حيث يتراوح طول موجاتها من ٠.٧٥ إلى ٤.٠ ميكرون<sup>(١)</sup> ، وتقدر نسبتها بنحو ٤٦٪ من جملة الإشعاع الشمسى .

ب - الأشعة الضوئية : Sun-light rays

وهي أشعة مرئية وتقدر نسبتها بنحو ٤٥٪ من جملة الإشعاع الشمسى ، ويتراوح طول موجاتها من ٠.٤٠ إلى ٠.٧٤ ميكرون .

ج - الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية : Violet and ultra violet rays

وتعرف أحياناً باسم الأشعة الحيوية ولا تزيد نسبتها عن ٩٠٪ من جملة الإشعاع ويتراوح طول موجاتها من ٠.١٧ إلى ٠.٤٠<sup>(١)</sup> ميكرون .  
مورفولوجية الشمس وخصائصها العامة :

أسهمت الدراسات الفلكية الحديثة باستخدام المراقب الفلكية المطورة ومراقب التحليل الطيفي وتسجيل المجالات الكهرومغناطيسية الضوئية فى معرفة الكثير من الخصائص العامة لنجم الشمس ومورفولوجيته .  
ويقسم علماء الفلك الشمس ومجالاتها إلى الأتى :

(١) قرص الشمس المضىء : الفوتوسفير Photosphere

ويقصد بذلك قرص الشمس نفسه الذى يسطح فى السماء ، ويبلغ نصف قطره حوالى ٧٠٠,٠٠٠ كم . وقد وصف بالمشء أو السراج ذلك لأنه عبارة عن المنطقة التى يأتى منها معظم ضوء الشمس ، والتى تحدث فيها التفاعلات النووية بين غلظات الشمس ليبقى لهيبها مستمراً إلى يوم

(١) د. حسن أبو العينين : المرجع السابق

والميكرون هو وحدة تقيس موجات الضوء = ١٠٠٠/١ من المليمتر .

الدين ولتنوير الشمس نفسها بنفسها بمشئية الله عز وجل ، وإليهم  
الضوء منها ويسقط على أسطح الكواكب التي تقع في فلكها وتحت تأثير  
جاذبيتها ، إلا أن الشمس لا ينتهي مجالها عند قرص الشمس نفسه ، بل  
يمتد لمسافات بعيدة جداً عن قرص الشمس ، ويشغل نطاقين يعرفان باسم  
الغلاف الغازي الشمسي Chromosphere والإكليل الشمسي Corona .

وعند فحص قرص الشمس بالمراتب الفلكية يتبين أنه سطح خشن ،  
وكأنه مكون من بلايين من الحبيبات النقيقة الحجم التي تشبه حبات الأرز  
المجاورة لبعضها البعض . وتتميز هذه الحبيبات سطح قرص الشمس  
بالتيبرغل أو بالتحبب Granulation ، وذلك لأن بعض الانقسام الغاز في  
قرص الشمس أشد حرارة من الانقسام الأخرى (١) . ويقدر عدد الحبيبات  
البارزة في سطح قرص الشمس بأكثر من ٤ بليون حبيبة ، وتمثل كل  
منها سحابة غازية ساخنة ، ويمكن تصويرها بالآت خاصة من سطح  
الأرض ، حيث يتراوح حجم كل منها من ٣٠٠ إلى ١٤٥٠ كم<sup>٢</sup> . وقد تبين  
أن معظم هذه الحبيبات مضلعة الشكل Polygonal ، ويبدو النوع المثالي  
منها ساطعاً Bright Granule ولا يزيد قطره على ١٥٠٠ كم .

ومع مرور الوقت تنقسم الحبة إلى حبيبات أصغر حجماً ، ثم  
تتلاشى بعد ذلك ليتكون غيرها من الحبيبات الغازية من جديد مع  
استمرار حدوث التفاعلات النووية في باطن قرص الشمس . وتنتفع هذه  
الحبيبات الغازية الساخنة إلى أعلى بمعدل ١٠ كم/ الثانية مع انبعاث  
الطاقة الشمسية ، ثم تقل سرعتها وتبرد الغازات فيها نسبياً عند وصولها  
إلى هوامش نطاق الحبيبات التي تتشكل هنا بخطوط ناعمة غير منتظمة  
الشكل ، وتقل درجة حرارة محيط قرص الشمس عن جوفه ، ويطلق على  
الحواف الخارجية لقرص الشمس الأبرد نسبياً تعبيراً لطيف الغاتم Limb  
Darkening . وهي خاصية يتكرر حدوثها بالنسبة لكل الشمس الأخرى  
المنتشرة في الفضاء السماوي مما يدل على ارتفاع درجة حرارة جوف  
النجوم عن درجة حرارة أسطحها وحوافها .

(1) a - Encyclopedia Americana, Vol. 7 p.510.

## (٢) الغلاف الغازى الشمسى : Chromosphere

يمثل نطاق الغلاف الغازى الشمسى طبقة شفافة نسبياً تمتد من الحواف الخارجية لقرص الشمس المضىء حتى الحواف الداخلية لنطاق الإكليل الشمسى Corona لمسافة تتراوح من ٧٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ كم . وترتفع درجة حرارة الغلاف الغازى الشمسى من أسفل إلى أعلى ( أى من هوامش قرص الشمس المضىء إلى أعلى فى الفضاء ) ، حيث تتراوح من ٤٥٠٠ درجة مطلقة  $^{\circ}\text{K}$  إلى ١ مليون درجة مطلقة  $^{\circ}\text{K}$  . كما تختلف كثافة الغازات فى هذا الغلاف من قسم إلى آخر ، حيث تبلغ الكثافة عند قاعدة الغلاف الشمسى نحو  $10^{-12}$  جزء/سم<sup>٣</sup> فى حين تصل إلى نحو  $10^{-9}$  جزء/سم<sup>٣</sup> عند أعاليه ، أى تتناقص الكثافة كلما اتجهنا إلى أعلى بعيداً عن قرص الشمس المضىء . ويلاحظ أن هناك توافقاً عكسياً بين مقدار كثافة الغازات الشمسية ودرجة حرارتها . فكلما انخفضت الكثافة ترتفع درجة الحرارة . وعند ارتفاع ٢٠٠٠ كم فوق قرص الشمس المضىء ( فى الغلاف الغازى الشمسى ) تبلغ درجة الحرارة نحو  $700^{\circ}\text{K}$  وعلى ارتفاع ٤٠٠٠ كم ترتفع إلى  $20,000^{\circ}\text{K}$  . وعند أعالي الغلاف الغازى الشمسى على ارتفاع ١٠٠٠٠ كم من قرص الشمس المضىء ترتفع درجة الحرارة ارتفاعاً سريعاً إلى نحو  $1,000,000^{\circ}\text{K}$  . ويستمر ارتفاع درجة الحرارة مع الصعود إلى أعلى فى الفضاء السعوى بالجو المحيط بالشمس . ففى الإكليل الشمسى على ارتفاع ١٠٠,٠٠٠ كم من قرص الشمس تقترب درجة الحرارة من مليون درجة . ( تبلغ فى باطن قرص الشمس نحو ٢٠ مليون  $^{\circ}\text{K}$  ) . ويلاحظ أن المقصود بدرجة هنا هو متوسط حركة الجسيمات . ومن ثم يطلق البعض عليها تعبير « درجة الحرارة الحركية Kinetic Temperature » ، حيث تزداد سرعة حركة الجسيمات مع زيادة الارتفاع فى الغلاف الغازى الشمسى . أما درجة الحرارة فى باطن قرص الشمس فيقصد بها « درجة الحرارة الغازية » . إذ لو كانت درجة حرارة الغازات فى الغلاف الغازى الشمسى ليست درجة حركية وإنما درجات فعلية تصل إلى مليون  $^{\circ}\text{K}$  لكان الجو أشد لمعانا بكثير عما هو فى قرص الشمس نفسه ، بل وكان

الإشعاع الصابر من الغلاف الشمسي من القوة والشدة بحيث يكون كافياً لصهر الكواكب . ومن ثم فإن حرارة الغلاف الغازي الشمسي من النوع الحركي لاستمرار الحياة على سطح كوكب الأرض <sup>(١)</sup> .

ويتميز الغلاف الغازي الشمسي بشدة نشاطه ، وتنبعث منه عند حدوث كسوف الشمس توهجات الطيف « لو طيف الوميض » Flash Spectrum . وينبثق من الغازات الساخنة في القسم الأسفل منه نافورات غازية هائلة الحجم تعرف باسم السنة التيارات البراقة Spicules ويبلغ قطر الواحدة منها نحو ٥٠٠ كم ، وتندفع ثيراتها إلى أعلى بسرعة تتراوح من ٢٠ إلى ٢٠٠ كم/ الثانية بولا يزيد طول فترة اندفاع الواحدة منها على بضعة دقائق ويصل درجة حرارة العمود أو لسان التيار الغازي إلى ١٠.٠٠٠ درجة مطلقة K في جوفه وإلى نحو ٥٠.٠٠٠ درجة مطلقة K عند سطحه .

### (٣) الإكليل الشمسي : Corona

يمتد نطاق الإكليل الشمسي فوق طبقة الغلاف الغازي الشمسي الداخلي أو القرمزي ، وهذا النطاق يحيط بالشمس كأنه إكليل لها لمسافات هائلة يصعب تحديدها ، وإن كان يتضمن كل نطاق كواكب المجموعة الشمسية والتي تسقط الشمس عليها أشعتها الحرارية والضوئية . ويتألف الإكليل الشمسي من غازات نقية وشديدة التوهج ومرتفعة الحرارة وتقدر درجة توهجها بنحو ١١ مليون من مقدار توهج قرص الشمس المضيء نفسه . وتقل درجة اللمعان والتوهج كلما بعدنا عن قرص الشمس ، وتبلغ درجة الحرارة الحركية لغازات الإكليل الشمسي نحو ٢ مليون درجة مطلقة K . وتتبخر الغازات في هذا للنطاق بسرعة شديدة وينتج عن ذلك اندفاع الجزئيات الغازية المشحونة كهربائياً إلى أعلى ويطلق عليها تعبير الرياح الشمسية Solar Winds . وقد يمتد نطاقها إلى قرب مواقع كوكب الأرض . وتبلغ كثافة الغازات في الإكليل الشمسي العالي الثاين

(١) فرد هوبل : « مشارف علم الفلك » ترجمة إسماعيل حتى - مجموعة الألف كتاب ، رقم ٤٦٣ - طر الكرنك - القاهرة (١٩٦٣) ص ١٣٨ - ١٤٠ .

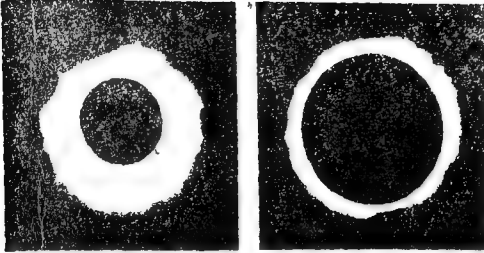
نحو  $5 \times 10^{26}$  ذرة/سم<sup>2</sup> ، وتتراوح درجة حرارته الحركية من ١,٥ إلى ٢,٥ مليون درجة مطلقة . ويستمد الإكليل الشمسي حرارته من اندفاعات الحبيبات الشمسية عند قرص الشمس المضى ومن اندفاع نافورات التيارات البراقة فى الغلاف الغازى الشمسى القرمزى . (شكل ١١) .

ويفسر العلماء ارتفاع درجة الحرارة الحركية فى الإكليل الشمسى إلى خصائص التموجات الصوتية وإلى المجالات المغنطيسية لقرص الشمس المضى كذلك ، ولتى تظهرها واشدها قوة تلك التى تتمثل فى البقع الشمسية . وعلى ذلك تنساب الطاقة من باطن قرص الشمس عن طريق الإشعاع وفى الثلث الأعلى منه تنساب الطاقة عن طريق الحمل نتيجة لتقلب الغازات الشمسية وجليانها ، أما عند سطح قرص الشمس نفسه فتتنساب الطاقة مرة أخرى عن طريق الإشعاع .

وعلى ذلك تتدفق الطاقة من الشمس بصورة مستمرة عبر ملايين السنين دون أن تتعرض للفناء ، وذلك لتعرض ذرات الغازات فيها للإثارة ، بحيث ينبثق منها طاقة على شكل موجات إشعاعية وحرارية وضوئية وفوق الصوتية وأشعة إكس وأشعة جاما . وفى باطن قرص الشمس تكون الذرات كلها مترابطة ترابسا شديداً بفعل انضغاط ملايين الذرات وقوى بعضها فوق البعض الآخر . وعندما تنقسم نواة الذرة إلى قسمين يتحولان بدورهما إلى نواتين لنرتين بسيطتين ، بينما يتحول قسم صغير من النواة إلى كمية هائلة من الضوء والحرارة أو إلى أى نوع آخر من الطاقة .

### ثالثاً : كواكب المجموعة الشمسية :

يقصد بكواكب المجموعة الشمسية أو ما يسمى بالنظام الشمسى The Planets of the Solar System مجموعة الكواكب التابعة لنجم الشمس ولتى تتأثر بجاذبية الشمس ، ويدور كل منها فى مدار خاص به حول الشمس من الغرب إلى الشرق . أما الأتمار Satellites فهى ترابع للكواكب وتتأثر بجاذبيتها وتدور فى مدارات حولها . وتختلف مجموعة



( شكل ١١ ) قرص الخمس الخس

الشهب والنيازك والمذنبات من النجوم والكواكب والأقمار في حركتها ، حيث إنه ليس لها منارات إلهيولوجية أو شبه دائرية منتظمة ، بل تندفع في حركتها في الفضاء السماوي في اتجاهات مختلفة ، وتدخل في نطاق المجموعة الشمسية تارة ، ثم تندفع وتخرج بعيداً عنها تارة أخرى ، فهي كالمقذوفات النارية الهائلة السرعة .

وتتألف كواكب المجموعة الشمسية من عطارد - Mercu- والزهرة Venus والويع Mars والكويكبات Asteroids والمشتري Jupiter وزحل Saturn وأورانوس Uranus ونبتون Neptune وبلوتو Pluto ولكل من هذه الكواكب حركة محورية وقوة طرد مركزية أسهمت في احتفاظ كل كوكب بموقعه في مداره الانتقالي وعدم التصاقه بجسم الشمس .

واكتشف العالم نيوتن سبب عدم التصاق الكواكب بنجومها في قاذونه عن قوة الجذب بين الكواكب والتي تتناسب مع  $\frac{1}{r^2}$ . فقد أكد نيوتن أن كلا من أفراد المجموعة الشمسية يقع في مدار خاص به لا يحدد عنه تبعاً لتناسب العلاقة بين قوة جذب الشمس وكتلتها (ك) بالنسبة لكتلة الكوكب المنجذب إليها (ك') ومربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما (٢٠).

وتحتل كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها والمذنبات والشهب والنيازك وأهم جميعا الشمس جزءاً صغيراً من مجرتنا درب التبانة ، ويبلغ سمك هذه المجرة نحو عشرة آلاف سنة ضوئية ، وتدور حول نفسها بسرعة ٥١٥ كم / الثانية ، ويوجد فيها أكثر من ١٠٠ مليون نجم . وإن بعض نجومها أكبر حجماً من الشمس وأشد إلتماعاً منها .

وتمثل الشمس أكثر من ٩٩٪ من إجمالي كتلة المجموعة الشمسية ، وتقدر كتلتها بنحو  $1.989 \times 10^{30}$  كم<sup>٣</sup> أي أكثر من ٣٣٣ ألف مثل لكتلة الأرض ، وإذا كانت بقية كواكب المجموعة الشمسية تمثل ١٪ من إجمالي كتلة المجموعة الشمسية فإن كتلة كوكب المشتري وكوكب زحل تبلغ ٩٠٪ من إجمالي كتلة كواكب المجموعة الشمسية مجتمعة .

#### أسطح الكواكب :

تتكون أسطح كواكب المجموعة الشمسية من مواد لها خاصية انعكاس الأشعة الشمسية الساقطة عليها ، ومن ثم تبدو جميعها منيرة في الفضاء السماوي على الرغم من أنها قائمة معتمدة لا يصدر عنها ضوء . وترتفع نسبة السليكات في القشرة الخارجية لسطح الكواكب . وتختلف نسبة وجود الغازات الطيارة وثاني أكسيد الكربون والمياه من كوكب إلى آخر (١) . هذه الاختلافات البيئية هي لكل كوكب من بين أسباب تميز كوكب عطارته بحرارته الجهنمية العالية ، ويتكوين الفتحات للجوف العميقة في سطحه ، كما أنها هي التي حولت كوكب الزهرة إلى سطح جحيمي غازي خانق Suffocating Inferno في حين أدت إلى كثرة حدوث الفيضانات

الكبرى Mega Floods فوق سطح المريخ وميزته بعناخه القطبي ليللا ويحرارته المرتفعة جداً نهائياً . وتتعرض أسطح الكواكب التي ليس لها غلاف غازي للفعل تساقط بقايا الشهب والنيازك عليها وتشكيل سطح هذه الكواكب بالحفر العميقة والتجويينات الهائلة الحجم .

#### الغلاف الغازي للكواكب :

حسب قوة الثروات والتفاعلات التكتونية في باطن بعض الكواكب قد تنبثق من جوفها مواد غازية ، وتتجمع فوق أسطحها ( إذا ما سمحت قوة جاذبيتها بذلك ) ، وقد ينعدم خروج الغازات الجوية من بعض الكواكب الأخرى . ومن ثم فإن بعض الكواكب لها غلاف غازي وبعضها الآخر ليس لها غلاف غازي . وتختلف مكونات الأغلفة الغازية وتركيبها الكيميائي حسب نوع المصهورات والمقذوفات الجوية التي انبثقت من جوف كل كوكب . فالأرض لها غلاف غازي انبثق مع المصهورات البركانية التي اندفعت من باطن الأرض وتجمعت بفعل قوة جاذبية الأرض حول سطحها . ويتألف الغلاف الغازي الأرضي من ٧٧٪ نيتروجين ونحو ٢١٪ أكسجين ، وغازات أخرى . وقد أسهم الغلاف الغازي لكوكب الأرض في تكوين مياه البحار والمحيطات وعظم حجم المسطحات المائية فيه حتى أنه يطلق على الأرض اسم « الكوكب المائي » . بينما الكوكب عطارد ليس له غلاف غازي ، ويتركب الغلاف الغازي لكوكب بلوتو من غاز الميثان  $CH_4$  الذي لا يشجع نشوء حياة فيه مثل تلك التي على الأرض . ويتشابه التركيب الكيميائي للغلاف الغازي لكوكب الزهرة إلى حد ما مع مثيله حول كوكب المريخ في أنه يتألف من ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  (٩٦٪) ونيتروجين  $N_2$  (٣,٥٪) ، وللمريخ غلاف غازي يتركب من ٩٥٪ من ثاني أكسيد الكربون ونحو ٢,٧٪ نيتروجين ونحو ١,٦٪ أرجون (٢) . واندفعت هذه الغازات مع المصهورات البركانية القديمة .

أما الغلاف الغازى لمعظم الكواكب التى تقع بعيداً عن الشمس والكبيرة الحجم فإن وجد لها فإنه يتربك من غاز الهيدروجين  $H_2$  مع وجود نسبة صغيرة من غاز الهليوم . فالغلاف الغازى لكوكب المشترى يتكون من ٨٩٪ هيدروجين و ١١٪ هليوم مع الغازات الأخرى بنسب قليلة جداً مثل الأمونيا ( غاز النشادر )  $NH_3$  <sup>(١)</sup> .

أما زحل فإن غلافه الغازى يتربك من ٩٤٪ هيدروجين ونحو ٦٪ هليوم . وتتصوى كل هذه الأغلفة على قطرات من السوائل وأجسام صغيرة صلبة عالقة فيها . وينتج عن قطرات ثانى أكسيد الكبريت  $H_2SO_4$  تكوين السحب الساطعة bright clouds لكوكب الزهرة ، وتصل سرعة الرياح فى هذا الكوكب إلى ١٠٠ م/الثانية ( ٢٢٤ ميل / الساعة ) .

وقد تظهر السحب المرئية لبعض الكواكب الكبيرة الحجم على شكل أحزمة أو نطاقات كبرى تحيط بالمناطق الاستوائية منها، ومن أظهرها السحب الكثيفة ذات البقع الحمراء حول كوكب المشترى والسحب الباهتة اللون حول كوكب زحل . ويعزى لون السحب إلى مقدار نسبة الكبريت والجزئيات الهيدروكربونية فيها . ونتيجة لامتنصاص غازات الهيدروجين للأشعة الحمراء تهوى سحب كوكب أورانوس وكوكب نبتون زرقاء اللون <sup>(٢)</sup>.

### كواكب المجموعة الشمسية وخصائصها العامة :

لم يعرف الإنسان كواكب المجموعة الشمسية إلا بعد مجهودات مضنية من الأبحاث الفلكية . وحتى أيام جاليليو ( ١٥٦٤ - ١٦٤٢ م ) لم يكن معروفاً من كواكب المجموعة الشمسية سوى تلك القريبة من الأرض

(١) أ - د . حسن أبو المينين : كوكب الأرض ، الطبعة المباشرة ، الإسكندرية ( ١٩٨٨ م ) ، ص ٦

(٢) نظراً لامتنصاص الأغلفة الجوى الأشعة البنفسجية ولما فيه من ذرات ترابية دقيقة الحجم تمكس الأشعة الشمسية - أكسب الغلاف الجوى الأرض لونها الذى يحيل إلى الزرقاء عند النظر إليها من الفضاء ، بينما يعرف المريخ بالكوكب الأحمر ، وزحل بالكوكب الأصفر ، والزهرة بالكوكب الأبيض النير . ونشأ الغلاف الغازى للمريخ بفعل انقراض المصهورات والغازات البركانية التى تعرض لها هذا الكوكب قديماً .

أو الأخرى الكبيرة الحجم . واكتشف الفلكيون كوكب اورانوس في عام ١٧٨١م وكوكب نبتون في عام ١٨٤٦م وكوكب بلوتو في عام ١٩٣٠م (١) . وظل علماء الفلك يعتقدون لفترة طويلة بأن الفضاء السماوي حول الشمس يتألف من الكواكب السيارة الكبيرة الحجم ، ولكن في عام ١٨٠١م تم كشف النقاب عن كوكب صغير الحجم أطلق عليه اسم سيرس Ceres يقع فيما بين مدارى كوكب المريخ وكوكب المشترى . ومع تطور تقنيات أجهزة الرصد الفلكية اكتشف العلماء ما يزيد على ٢٠٠٠ كويكب من مثل كويكب سيرس تقع جميعها فيما بين مدارى المريخ والمشتري . ويبلغ متوسط قطر كويكب سيرس ( أكبر هذه المجموعة من الكويكبات حجما ) نحو ٥٠٠ ميل ، في حين يبلغ المتوسط العام لقطر كل من هذه الكويكبات نحو عشرة أميال فقط . وعند نهاية عام ١٩٨٠م ميز العلماء نحو ٢٥٠٠ كويكب ، ورجحوا بأن نشأتها تعزى إلى حدوث انفجارات في بعض أجزاء الكواكب الكبيرة الحجم .

وتتركب الكويكبات من أجسام صغيرة الحجم تشبه في تركيبها المعدنى تركيب صخور القمر . وتختلف درجة نورانية Albedo كل منها حسب تنوع التركيب الصخرى لأسطحها ، ومقدار انعكاس الأشعة الساقطة عليها . وتقل درجة النورانية عندما يتركب سطح الكويكب من نسبة عالية من الكوندريت الكربونى Carbonaceous Chondrite ، وتكون درجة النورانية متوسطة في حالة تركيب سطح الكويكب من الحديد الصخرى Stony iron وعالية جداً عندما ترتفع نسبة الحديد والنيكل في صخور الكويكب . وفيما يلى عرض موجز عن الخصائص العامة لبعض أفراد المجموعة الشمسية .

(١) د. حسن أبو العينين : أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة العاشرة - الإسكندرية (١٩٨٨م) ، ص ١٧٢ - ١٧٩ . والطبعة الحادية عشرة - الإسكندرية (١٩٩٥) ب- حسن أبو العينين « من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم » الجزء الأول - مع آيات الله فى السماء - مطبعة المبيكان - الرياض ( ١٩٩٦ ) ص ١٧٢ .

## الزهرة Venus :

يشبه كوكب الزهرة من حيث الحجم كوكب الأرض ، ومن ثم يعتبر بعض الفلكيين أن الزهرة أخت كوكب الأرض Sister Planet ولكن يتضح أن كتلة كوكب الزهرة تبلغ نحو ٨/١٠ من كتلة الأرض ، ويدور هذا الكوكب بهبط شديد جداً حول محوره من الشرق إلى الغرب ، كما يدور حول الشمس في دورة انتقالية من الغرب إلى الشرق كل ٤٤٠ يوم . وقد تبين للعلماء بأن الوقت الذي تستغرقه الدورة المحورية لكوكب الزهرة أطول من الوقت الذي يستغرقه هذا الكوكب للدوران دورة انتقالية كاملة واحدة حول الشمس تبعاً لهبطه دورانه حول نفسه . وكان لذلك أثره في تراكم المسحب الغازية حول كوكب الزهرة وحجب الإشعاع المرتد من سطحه ، ومن ثم ارتفعت درجة حرارة سطح هذا الكوكب إلى درجة عالية جداً ، بحيث لا تناسب وجود حياة بشرية مماثلة لتلك الموجودة على كوكب الأرض . وفي يوم ١٤ ديسمبر عام ١٩٦٢م تمكنت سفينة الفضاء مارينر 11.11 Mariner من أن تقترب من كوكب الزهرة بنحو ٢١.٦٠٠ ميل ، وأرسلت إلى الأرض معلومات عديدة عن هذا الكوكب ، وأكدت أن سطح الزهرة شديد الجفاف والحرارة ( نحو ٦٠٠ في الأجزاء المنخفضة منه ، ونحو ٤٠٠ في المناطق الجبلية المرتفعة غير المواجهة للشمس ) ، ويصعب وجود أي نوع من الحياة فوقه . ولم يستطع العلماء حتى الوقت الحاضر تفسير الاختلاف في تباين درجات الحرارة اليومية على سطح الزهرة .

## كوكب الأرض وقمره :

الأرض كوكب من كواكب المجموعة الشمسية يبلغ متوسط قطره نحو ٧,٩٢٧ ميل ، ويزيد طول القطر الاستوائي على طول القطر بنحو ٢٧ ميل . ويرجح الباحثون بأن هذه الزيادة في طول القطر الاستوائي ترجع إلى تأثير عمليات دوران الأرض حول نفسها وبفعل قوة الطرد المركزية وخاصة أثناء المراحل الأولى التي تكون خلالها كوكب الأرض .

(١) د. حسن أبو العينين : كوكب الأرض ، الإسكندرية - الطبعة العاشرة (١٩٨٨م) ، ص ٥ - ٢٠ .

(٢) د. حسن أبو العينين - المرجع السابق ص ٢٧ - ٤٦ .

وتدور الأرض حول الشمس دورة كاملة كل عام وينجم عن اختلاف موقع الأرض بالنسبة للشمس خلال فترة دوراتها هذه تكوين الفصول الأربعة ، في حين تدور الأرض حول نفسها ( حول محورها ) دورة كاملة في اليوم الواحد ، وينشأ من ذلك تعاقب الليل والنهار ، حيث يكون نصف الكرة الأرضية المواجه للشمس مضيئاً والنصف الآخر مظلماً ، وتوضح البيانات الآتية بعض المعلومات الخاصة بحجم الأرض ومساحتها وكثافتها .

#### أولاً : بعض أطيال الأرض وأبعادها :

من بين المحاولات الأولى لمعرفة أبعاد الأرض التجربة التي قام بها عالم الرياضيات الفلكي الاسكندري ايراتوسين ( ١٧٦ - ١٩٦ ق م ) لحصوله إيجاد محيط الأرض . فقد لاحظ ايراتوسين لاختلاف ميل أشعة الشمس عن سمت الراصد فيما بين الاسكندرية وأسوان على اعتقاد منه انهما تقعان على خط طول واحد . وكان مقدار هذه الزاوية ٥٧,٢ وتساوى للمسافة بين المدينتين والتي قدرها بنحو ٥٠٠ فرسخاً يونانياً . ومن تقديره لقرس هذه الزاوية استطاع ان يقدر محيط الكرة الأرضية بنحو ٢٥٢,٠٠٠ استديا ( الليل يبلغ نحو ١٠ استديات ) أي نحو ٢٤٦٦٢ ميل ( ٣٩٥٠٠ كم ) .

ولهما يلي بعض بيانات عن أبعاد الأرض :

نصف القطر القطبي	٣,٩٥٠ ميل ( ٦٣٥٧ كم )
نصف القطر الاستوائي	٣,٩٦٤ ميل ( ٦٣٧٨ كم )
متوسط نصف قطر الأرض	٣,٩٥٦ ميل ( ٦٣٧١ كم )
الحيط القطبي	٢٤,٩٠٠ ميل ( ٤٠,٠٠٩ كم )
الحيط الاستوائي	٢٤,٨٥٧ ميل ( ٤٠,٠٧٧ كم )
( قيمة التفلطح ) درجة الأملحية الأرض ellipticity مقدار	

التناقص عن الشكل الدائري المنتظم)

$$\frac{1}{297} = \frac{\text{القطر الاستوائي} - \text{القطر القطبي}}{\text{القطر الاستوائي}} = \text{قيمة التناقص}$$

ثانيا : حجم الأرض :

حجم الأرض عامة ٢٦٠ بليون ميل<sup>٣</sup> ( ١,٠٨ × ١٠<sup>٨</sup> كم<sup>٣</sup> )

حجم للمسطحات المائية ٢٣٠ مليون ميل<sup>٣</sup> ( ١,٣٧٠ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٣</sup> )

حجم قشرة الأرض Crust ٢ بليون ميل<sup>٣</sup> ( ٦,٢١٠ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٣</sup> )

حجم القشرة الفطائية للأرض Mantle

٢١٦ بليون ميل<sup>٣</sup> ( ٨٩٨٠٠٠ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٣</sup> )

حجم باطن الأرض Core ٤١ بليون ميل<sup>٣</sup> ( ١٧٥,٥٠٠ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٣</sup> )

ثالثا : كثافة الأرض : ( على أساس كثافة المياه = ١ )

متوسط كثافة الأرض ٥,٢٥

كثافة قشرة الأرض ٢,٨٥

كثافة القشرة الفطائية للأرض ٤,٥٣

كثافة باطن الأرض ١٠,٧٠

رابعا : مساحة الأرض :

مساحة سطح الكرة الأرضية

١٩٨ مليون ميل<sup>٢</sup> ( ٥١٠ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٢</sup> )

مساحة اليابس ( ٢٩,٢٢ ٪ من مساحة الكرة الأرضية )

٥٧,٥ مليون ميل<sup>٢</sup> ( ١٤٩ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٢</sup> )

مساحة المسطحات المائية ( ٧٠,٧٨ ٪ من مساحة الكرة الأرضية )

١٣٩,٤ مليون ميل<sup>٢</sup> ( ٣٦١ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٢</sup> )

مساحة اليابس مع مساحة الرفارف القارية

١٢٨,٤ مليون ميل<sup>٢</sup> ( ٣٢٢,٦ × ١٠<sup>٦</sup> كم<sup>٢</sup> )

#### خامساً : مناسيب الأرض :

أعلى ارتفاع لليابس ( قمة أفريست )	٢٩,٠٢٨ قدم ( ٨,٨٤٨ م )
أكبر عمق معروف للماء ( بخائق ماريانا )	٣٦,١٩٨ قدم ( ١١,٠٣٣ م )
متوسط ارتفاع اليابس	٢,٧٥٧ قدم ( ٨٤٠ م )
متوسط أعماق المحيطات	١٢,٤٦٠ قدم ( ٣,٨٠٨ م )

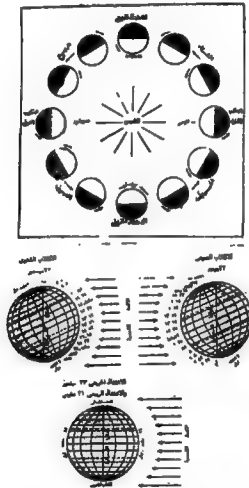
#### سادساً : حركة الأرض ودورانها :

للأرض حركتان . تعرف الحركة الأولى باسم الحركة المحورية أو الدورانية حيث تدور الأرض حول محورها الوهمي من الغرب إلى الشرق . وتعرف الحركة الثانية باسم الحركة الانتقالية حيث تدور فيها الأرض حول الشمس من الغرب إلى الشرق أيضا في مدار أهليلجي خاص بها لا يتغير ولكن تنتقل الأرض في هذا المدار من مكان إلى آخر على مدار السنة ويفسر العلماء سبب عدم تقيير الأرض لمدارها ( وكذلك الحال بالنسبة لمدارات الكواكب الأخرى حول الشمس ) بالعلاقة الممثلة في قانون الجذب لنيوتن حيث إن قوة الجذب تتناسب مع  $\frac{١}{r^2}$  مع  $\frac{١}{r}$ .

ولا يشعر الإنسان بحركة دوران الأرض حول محورها ذلك لأن كل ما يحيط به يتحرك معه في نفس الاتجاه . ولكن تختلف سرعة الدوران على سطح الأرض باختلاف المواقع بالنسبة لدوائر العرض المختلفة . فسرعة دوران الأرض عند نقطة القطب تكون معدومة ، في حين تصل إلى نحو ٣١٢ متر في الثانية عند دائرة عرض ٥٠° ( شمالا أو جنوبا ) وتبلغ أقصاها عند الدائرة الاستوائية حيث تصل سرعة دوران الأرض إلى نحو ٤٦٥ مترا في الثانية ( شكل ١٢ ) أ ب ) .

ويلاحظ أن كل ما يتمثل على سطح الأرض من منشآت عمرانية ومياه البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات وكذلك الغلاف الغازي الذي يقع فوق سطح الأرض لا يتعرض للسقوط مع دوران الأرض حول نفسها أو حول الشمس ، ذلك لأنها جميعا تتأثر بفعل قوة الجاذبية الأرضية .

ويدون هذا الفعل الأخير فإن هواء الغلاف الغازي قد يصعد إلى أعلى ويبعد عن الأرض حتى تصبح الأرض دون غلاف جوى وتنعدم الحياة عليها . وأوضح العلماء بأن الأرض اكتسبت قوة جاذبيتها تبعاً لتجمع المواد الثقيلة الوزن جداً العالية الكثافة في باطنها والتي نتجت من الأخرى تبعاً لدوران الأرض حول محورها منذ بداية ميلادها إلى يوم الدين .



(شكل ١١٢ ب) حدوث الفصول الأربعة وتعاكس الليل والنهار على سطح الكرة الأرضية .

وتدور الأرض حول محورها الوهمي دورة واحدة كاملة كل ٢٢ ساعة و ٥٦ دقيقة و ٤ ثواني ، وتعد هذه المدة الزمنية هي المدة الفاصلة بين رؤية نجم ثابت ثم رؤيته مرة ثانية من نفس المكان وتسمى هذه المدة باليوم النجمي . أما اليوم الشمسي فإنه أطول من اليوم النجمي بنحو ٣ دقائق و ٥٦ ثانية ( ٢٤ ساعة تماماً ) ويحسب اليوم الشمسي بنفس حساب اليوم النجمي إلا أن النجم الثابت في هذه الحالة هو الشمس . أو بمعنى آخر فإن اليوم الشمسي هو عبارة عن المدة التي تنقضي بين مرور الشمس على خط زوال واحد مرتين متتاليتين (١) .

وينتج عن دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق تعاقب حدوث الليل والنهار ، حيث إن النصف الكروي من الأرض الذي يواجه الشمس يصبح مضيئاً في حين يكون النصف الآخر معتماً ، فلو كانت الأرض لا تحدث فيها هذه الحركة المحورية لقسمت الأرض إلى نصف مضيء دائم وآخر معتم ثابت .

وقد لاحظ فيرل ، انحراف الأجسام المتحركة فوق سطح الأرض عن اتجاهها الأصلي مع هذه الحركة المحورية للأرض . ويختلف هذا الانحراف في نصف الكرة . وهكذا يتبين أن الرياح التجارية الشمالية الشرقية في نصف الكرة الشمالي تنحرف على يسار اتجاهها في نصف الكرة الجنوبي وتصبح شمالية غربية أما الرياح التجارية الجنوبية الشرقية في نصف الكرة الجنوبي تنحرف على يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي وتصبح جنوبية غربية .

(١) يزيد اليوم الشمسي عن اليوم النجمي بـ ٣ دقائق و ٥٦ ثانية ذلك لأن الأرض إذا انضمت حركة كاملة حول محورها الوهمي أمام النجوم فإنها تكون قد قطعت جزءاً من مسارها حول الشمس يقدر بنحو ٣٦٥/١ من هذا المسار . أي أن اليوم الشمسي - لليوم النجمي = ٣٦٥/١ من اليوم

أي يساوي  $365/1 \times 24 \times 60 = 52$  ثانية و ٣ دقيقة

على ذلك فإن السنة الشمسية = ٣٦٥,٢٤ يوماً شمسياً

= ٣٦٦,٢٤ يوماً نجمياً

أما الحركة الثانية فهي الحركة الانتقالية السنوية للأرض في مدارها الإهليلجي حول الشمس ويطلق أحياناً على هذا المدار اسم الدائرة الكسوفية . وتعمل هذه الدائرة الأخيرة عن دائرة خط الاستواء السماوية بزاوية مقدارها  $23,5^\circ$  . وحيث إن مدار الأرض حول الشمس أهليلجياً ، فإن المسافة بين الشمس والأرض ليست متساوية تماماً في المواقع المختلفة على طول هذا المدار الإهليلجي ، ويطلق على أقرب نقطة للأرض عن الشمس اسم نقطة الحضيض وتبلغ نحو ١٤٧ مليون كم في حين يطلق على أبعد نقطة عن الشمس نقطة الأوج وتبلغ نحو ١٥٢ مليون كم .

وعند دوران الأرض في مدارها حول الشمس فإنها لا تغير من مصورها المائل ( الذي يميل عن المحور العمودي على مسار الأرض بزاوية  $23,5^\circ$  ) بل يظل هذا المحور المائل موازياً دائماً لنفسه في مختلف المواقع على طول المدار وينجم عن ذلك تغير تعامد الشمس على الأرض على مدار السنة . وهكذا أدى ميل محور الأرض أثناء دورانها حول الشمس إلى اختلاف مساحة أجزاء سطح الأرض المعرضة للشمس في مختلف نواثر العرض بنصف الكرة الأرضية ، ومن ثم فإن اختلاف طول الليل والنهار وحدث الفصول الأربعة ( في الشتاء والربيع والصيف والخريف ) تعد نتيجة للدورة السنوية للأرض حول الشمس وميل محور الأرض على مستوى مدارها . ففي منتصف الربيع ومنتصف الخريف تكون الشمس متعامدة على خط الاستواء وعلى ذلك يتساوى طول الليل وطول النهار منذ كل نواثر العرض المختلفة وتعبر هذه الفترة ( ٢١ مارس ، ٢٣ سبتمبر ) بالاعتدالين الربيعي والخريفي . أما في منتصف الشتاء ( الشمالي ) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض  $23,5^\circ$  جنوباً ( مدار الجدي ) وفي منتصف الصيف ( الشمالي ) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض  $23,5^\circ$  شمالاً ( مدار السرطان ) .

ويطلق العلماء على هاتين الفترتين الشتاء ، والصيف باسم

الانقلابين وخلالهما يختلف طول الليل والنهار على دوائر العرض المختلفة ( نتيجة ميل محور الأرض ) وعلى ذلك فإن نقطة القطب الشمالي تكون مضبوطة ونهاراً دائماً ( طوله ٢٤ ساعة ) خلال فصل الصيف الشمالي في حين أن نقطة القطب الجنوبي تكون مظلمة وليلاً دائماً ( طوله ٢٤ ساعة ) خلال نفس هذا الفصل ( شكل ١٢ ، ب ) ويوضح الجدول الآتي لاختلاف طول الليل والنهار عند دوائر العرض المختلفة خلال فترة الانقلابين .

ونتيجة لدوران الأرض حول الشمس دورة كاملة خلال ستة تصدث الفصول الأربعة ( الاعتدالين الربيعي ٢١ مارس ، والانقلاب الصيفي ٢١ يونيو ، والاعتدال الخريفي ٢٢ سبتمبر ، والانقلاب الشتوي ٢١ ديسمبر ) .

دوائر العرض		الانقلاب الصيفي ( ساعة )		الانقلاب الشتوي ( ساعة )
الدائرة القطبية		ساعة	دقيقة	ساعة
٦٠	٢٠	٢٤	٢٠	٥
٥٠	٩	١٦	٥١	٧
٤٠	٥١	١٤	٩	٩
٣٠	٥٦	١٣	٤	١٠
٢٠	١٣	١٣	٤٧	١٠
١٠	٢٥	١٢	٢٥	١١
الدائرة الاستوائية	٠٠	١٢	٠٠	١٢

ويستمد كوكب الأرض حرارته من الأشعة الشمسية الساقطة عليه ، ويعمل الغلاف الغازي الذي يحيط بكوكب الأرض على حمايته من الإشعاعات فوق البنفسجية وامتصاص الغازات الضارة ، وتلطيف درجة

حرارة الهواء الملاصق لسطح الأرض كما يعمل الغلاف الغازي كذلك على حماية كوكب الأرض من التأثير المباشر لتساقط الشهب والنيازك المحرقة على سطح الأرض<sup>(١)</sup> . ومن ثم تدين الأرض لغلافها الجوي بأسباب وجود الحياة على سطحها .

**أما القمر :** فهو كويكب تابع للأرض ويتميز بمنظره الجميل الساطع في الفضاء الكوني . ويعد جاليليو أول من شاهد القمر خلال التلسكوب الفلكي وعين ظواهره الكبرى وأعطاه اسماء مختلفة وقد أطلق جاليليو على المناطق الواسعة السوداء من سطح القمر والتي تشبه البحار اسم « ماريا » Maria ( جمع كلمة Mare اللاتينية ومعناها بحر ) ، هذا على الرغم من أن هذه البحار ( كما أثبت ذلك الانسان الذي نزل على سطح القمر في يوليو عام ١٩٦٩ شكل ١٣ ) لا تحتوى على مياه . كما شاهد جاليليو السلاسل الجبلية الكبرى فوق سطح القمر ، والفوهات البركانية - أكبرها حجما فوهة كلافيوس Clavius والتي يبلغ قطرها نحو ١٤٦ ميل - وتجويفات السطح الناجمة عن تساقط الشهب والنيازك فوق سطح القمر . وعلى ذلك قسم الاستاذ W L Stokes<sup>(٢)</sup> سطح القمر إلى إقليمين كبيرين هما :

#### أ - الأراضي القمرية المضروسة :

ويقصد بذلك مناطق المرتفعات وحقول الفوهات والنيازك والشهب ، وتتميز هذه الأراضي بلونها الفاتح ويطلق عليها الفلكيون اسم أراضي القمر Terrae .

#### ب - الأراضي القمرية السهلية :

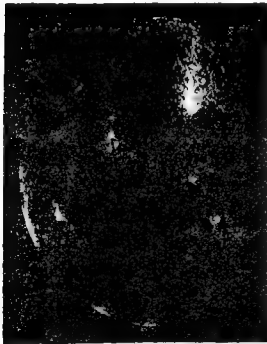
ويقصد بذلك مناطق السهول الواسعة الصوخية الشكل الكبيرة الحجم . وتتميز هذه الأراضي بلونها القاتم ويطلق الفلكيون عليها اسم بحار القمر Maria ( انظر شكل ١٤ )

(١) من أشهر النيازك المحرقة التي سقطت على سطح الأرض تلك التي سقطت فوق سيبيريا في عام ١٩٠٨ وكانت حزمة هائلة للمطر والأمطار

(2) William Lee Stokes, "Introduction to Geology" Prentice Hall (1968), P.457



(شكل ١٣) سفينة الفضاء أبولو ١٦ عند نزولها على سطح القمر



(شكل ١٤) الأراضي المضيئة على سطح القمر

ويرجع الأستاذ ستوكس بأن مواد القمر لم تتعرض للانصهار الكلى ، بل كانت بعض مواد القمر خلال نشأته الأولى شبه لزجة ، ومن ثم انسابت السنة من الالاف فوق سطح القمر عملت على تغطية فوهات القمر الصغيرة ، وتكوين بحار القمر . أو بمعنى آخر فإن حدوث هذه المصهورات فوق سطح القمر أدى إلى تشكيل سطحه الأصلي Proto - Moon Scape ، وظهورها بشكله الحالي بين جبال وفوهات مرتفعة شديدة التضرس ، وبحار واسعة مستوية السطح .

وقد أوضح الأستاذ هويل F. Hoyle بأن فوهات القمر فى المناطق المضرسه منه والتي تبلغ قطر أكبرها نحو ١٠٠ ميل ( يزيد هذا القطر عن ١٠ أمثال أكبر فوهة بركانية على سطح الأرض ) ، قد تكونت نتيجة لتساقط واصطدام الشهب والنيازك بسطح القمر ، ويرجح . بأن هذه المواد للتساقطة كانت تتحرك فى الفضاء بسرعة كبيرة جدا ، ومن ثم عند اصطدامها بسطح القمر غاصت فى سطحه وتغلغلت فى صخور قشرته وأدت إلى تكوين فوهات متسعة هائلة العمق . وتتغطى بحار القمر بقرشات سميكة من تراب القمر . ويعتقد الفلكيون أن هذه الكميات الهائلة من الأتربة القمرية تكونت نتيجة لتعرض سطح القمر للأشعة فوق البنفسجية وأشعة (X) التى تنهال عليه من الشمس وقد أدى ذلك إلى تفتت صخور القمر وتطعيم التركيب البلورى لمكوناتها وتجمعت هذه المفتتات القرابية الدقيقة بالتدريج فى بحار القمر بفعل القوى الكهربائية وقوة الجاذبية . وقد أدت إشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة على سطح القمر إلى انثاف ألوان صخور القمر وأصبحت الأخيرة ذات لون واحد هو اللون الرمادى .

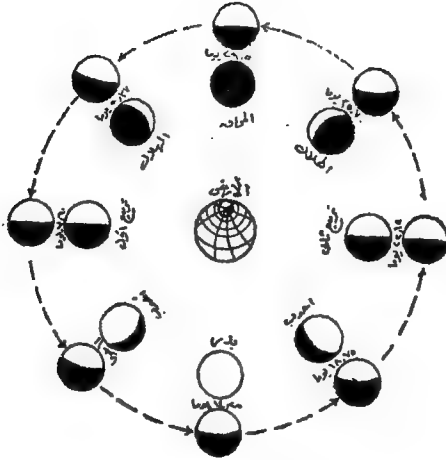
وقد أكدت سفينة الفضاء الأمريكية سرفايور 1 Surveyor - هبطت على سطح القمر فى ٢ يونيو عام ١٩٦٦ - ما تبين بعد نزول الانسان على سطح القمر فى أغسطس ١٩٦٩ ، بأن بحار القمر تتغطى بقرشات سميكة من الأتربة المخلخلة والهشة والعالية المسامية ، ويتجمثر فيها بعض المفتتات الصخرية الخشنة .

وتبعاً لدوران القمر حول نفسه في محور أفقى ، فإن الإنسان ( على سطح الأرض ) لا يرى من القمر سوى وجه واحد فقط في جميع الأوقات ، ويظل وجه القمر الآخر مختفياً . ولكن بفضل القمر الصناعى الروسى الذى اطلق في ٤ اكتوبر عام ١٩٥٩ تمكنت الأرض من التقاط مرئيات فضائية للوجه الآخر من القمر . وقد تبين بأن هذا الوجه ( غير المرئى من الأرض ) لا يحتوى على الكثير من البحار القمرية « ماريا » التى تميز الجانب المواجه للأرض . وبفضل استخدام لجهزة التلسكوب الحديثة يمكن مشاهدة تفاصيل سطح القمر كمثل الذى ينظر إلى سطح الأرض بالعين المجردة وعلى بعد ٢٠٠ ميل . وحيث تبلغ كثافة القمر نحو ٣,٣ فى حين تبلغ كثافة الأرض نحو ٥,٥ فإن قوة الجاذبية على سطح القمر تعادل ١/٦ قوة الجاذبية على سطح الأرض .

ويدور القمر حول الأرض ، ويرى الإنسان لوجه القمر بأشكال مختلفة تبعاً لموقع القمر بالنسبة للأرض والشمس وحجم القسم المنير منه . فعندما يقع القمر بين الأرض والشمس يكون القمر فى المحاق ، أما عندما تقع الأرض بين القمر والشمس فيكون القمر بدراً وعندما يتعامد المستقيمان الممتدان من مركز الأرض إلى كل من مركز الشمس ومركز القمر يأخذ القمر وضعه الأول ويعرف باسم التربيع الأول والتربيع الثانى أو الأخير . ( شكل ١٥ ) .

#### كسوف الشمس وكسوف القمر :

يتضح مما سبق أن الأرض والقمر يستمدا الضوء من أشعة الشمس الساقطة عليهما . وعلى ذلك لا يرى الإنسان القمر إلا إذا كانت هناك أشعة شمسية تسقط عليه لكى تضيئه وتنعكس على سطح الأرض <sup>(١)</sup> . وهكذا يرى الملاحظ من الأرض كلا من الشمس والقمر فى بعض الأوقات الأخرى



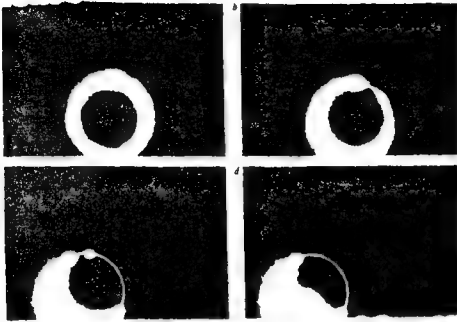
شكل (١٥) أوجه القمر ومداراته حول الأرض

(١) تنقسم الحزم الضوئية إلى ثلاثة أنواع هي :

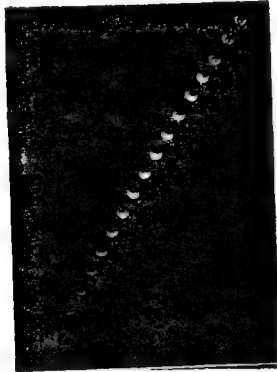
أ - حزمة ضوئية متفرقة : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية تخرج من نقطة مضيئة ثم تتباعد عن بعضها كلما بعدت عن هذه النقطة ومن أمثلتها الأشعة التي تنفذ من ثقب ضيق خلف جسم مضيء .

ب - حزمة ضوئية متوازية : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية متجاورة ومتوازية مثل أشعة الشمس الساقطة على سطح الأرض ، وفي الواقع فإن أشعة الشمس متفرقة ولكن تبعاً لبعدها المسافة بين الشمس والأرض فإنها تعتبر أشعة متوازية .

ج - حزمة ضوئية متجمعة : وهي عبارة عن مجموعة من أشعة ضوئية تخرج من نقطة مضيئة ثم تقترب من بعضها البعض كلما بعدت عن المصدر حتى تتجمع في نقطة واحدة ، ومن أمثلتها الأشعة المتجمعة بعد مرورها من عدسة مبطية .



( شكل ١٦ ) كسوف الشمس في ٣٠ مايو ١٩٨٤ كما صور في ولاية جورجيا بالولايات المتحدة - لاحظ موقع القمر بالنسبة لقرص الشمس .



( شكل ١٧ ) مراحل خسوف القمر

ومن المعروف أن من خصائص الأشعة الضوئية إنها تنتشر في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس ويكون انتشارها على هيئة حزم تعرف بالحزم الضوئية ، في حين أن الظلال تتكون نتيجة لاعتراض جسم ما معتم مجال أشعة الضوء . وهذا يفسر لنا أسباب حدوث عملية كسوف الشمس وكسوف القمر ، حيث إن هاتين الظاهرتين الطبيعييتين ينتج عنهما إحتجاب رؤية الشمس أو القمر من الأرض نتيجة لانتشار أشعة الشمس المتوازية في خطوط مستقيمة ، ولأشكال ظل القمر على سطح الأرض وظل الأرض على سطح القمر .

على ذلك فإن كسوف الشمس Solar eclipse عبارة عن إحتجاب كل ضوء الشمس أو جزء منه عن الأرض ، وهذا لا يحدث إلا إذا وقع القمر بين الأرض والشمس وأن تكون مراكز الأرض والشمس والقمر كلها على خط زوال واحد أي على استقامة واحدة . وفي هذه الحالة يحدث ثلاثة أنواع من الكسوف حسب مكان الملاحظ أو الراصد على الأرض وهي :

أ - كسوف الشمس الكلي Total Solar Eclipse : ويحدث بالنسبة للجزء الذي يقع في منطقة ظل القمر ، وتختفي فيه الشمس عن الراصد تماماً .

ب - كسوف الشمس الجزئي Partial Solar eclipse : ويحدث بالنسبة لأجزاء الأرض التي تقع في منطقة شبه الظل ، وفيه يلاحظ الراصد جزءاً من الشمس ويحتجز بقية جسم الشمس خلف القمر .

ج - كسوف الشمس الحلقي Annular solar eclipse يحدث في أجزاء الأرض التي تقع في امتداد مخروط ظل القمر ، وتظهر الشمس للراصد على شكل قرص مظلم تحيط به حلقة مضيئة ( شكل ١٦ وشكل ١٨ ) .

ويقصد بكسوف القمر Lunnar eclipse إحتجاب كل ضوء القمر أو جزء من ضوءه عن الأرض . وهذا لا يحدث كذلك إلا إذا وقعت الأرض بين كل من الشمس والقمر عندما تكون مراكزهم على استقامة واحدة أي على

خط زوال واحد ( شكل ١٧ ) وهناك نوعان من الخسوف هما :

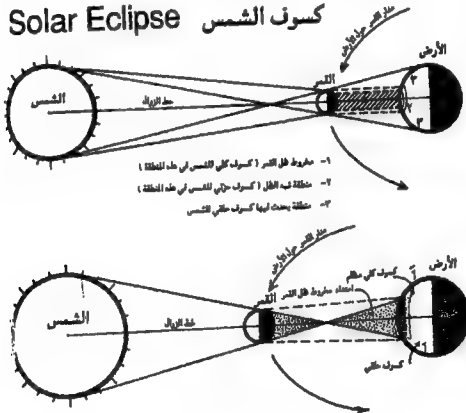
١- خسوف القمر الكلى : Total Lunar eclipse ، وفيه يختفى القمر تماماً ، ولا يظهر بالنسبة للمراصد على سطح الأرض .

ب- خسوف القمر الجزئى : Partial lunar eclipse ويحدث عندما يقع جزء من القمر فى منطقة ظل الأرض ، والجزء الآخر يقع فى منطقة شبه الظل ، فيرى للملاحظ أن الجزء الأخير مضيئاً ، أما الجزء الآخر الذى يقع فى منطقة الظل فيظهر معتماً . ( شكل ١٩ )

على ذلك فإن أهم أوجه الاختلاف بين الأرض والقمر تتلخص فيما

يلى :

## كسوف الشمس Solar Eclipse



شكل (١٨) كسوف حلقى للشمس

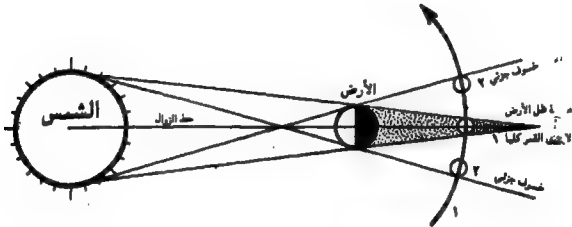
١ - تبلغ كثافة القمر ٢.٣ فى حين تبلغ كثافة الأرض ٥.٥ وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على اختلاف التركيب المعدنى والكيميائى بين الأرض

والقمر ، وأن القمر يضم بعض المعادن الخفيفة وأن مجاله المغناطيسي والكهربائي محدودان .

٢ - للأرض نواة داخلية أكبر من حجم القمر وأعلى منه كثافة حيث أنها تتألف من مواد معدنية ثقيلة ، في حين لا يحتوى القمر على مثل هذه النواة المركزية . ومن ثم يمكن القول بأن القمر لم يكن يتركب من مواد منصهرة تماماً كمثل الأرض ولم يحدث فيه ترتيب طباقى لمعادنه كما حدث بالنسبة لمعادن الأرض .

٣ - يتميز سطح القمر بكثرة الفوهات العميقة وتلك الناجمة عن تساقط الشهب والنيازك ، وهذه الأخيرة نادراً ما تشاهد على سطح الأرض . وربما كان سطح الأرض في بداية نشأته متأثراً بمثل هذه الفوهات ، إلا أن عوامل التعرية والتجوية والارساب أزالته آثار هذه الفوهات من فوق سطح الأرض ، كما يعمل الغلاف الغازي المحيط بالأرض اليوم على حماية سطحها من تأثير تساقط الشهب والنيازك .

### خسوف القمر الكلي والجزئي Lunar Eclipse



شكل (١٩) إشكال خسوف القمر

٤ - يتشكل سطح الأرض بفعل الحركات التكتونية الكبرى ( مثل فعل البراكين والزلازل والالتواءات ... ) فى حين لا يتأثر سطح القمر بمثل هذه الحركات .

### المريخ Mars:

يتشكل سطح المريخ بألوان مختلفة ، فالقسم الأكبر منه ذو لون أبيض وقسم آخر صغير منه ذو لون قاتم ، واللون العام للمريخ هو اللون الأحمر ، ومن ثم يطلق عليه أحياناً اسم الكوكب الأحمر The Red Planet

ويعد المريخ أنسب كواكب المجموعة الشمسية - بعد الأرض - من حيث إمكانية وجود حياة ما فوق سطحه ، ويعزى السبب فى ذلك إلى وجود غلاف من ثاني أكسيد الكربون والنتروجين يحيط بالمريخ من جهة أخرى ، ويؤكد العلماء كذلك أن القمم الجبلية فى المريخ مغطاة بثلثسوات جليدية ينصهر بعضها خلال فصل الصيف وتؤدى إلى انسياب المياه على شكل غطابات مائية قد تساعد على وجود حياة ما ، وخصوصاً فى المناطق الاستوائية من كوكب المريخ . وتبين من نتائج الدراسات الفلكية بأن الغلاف الجوى الذى يحيط كوكب المريخ لا يعد ساماً تماماً ، ويتكون هذا الغلاف من نسبة مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون ( ١٤ مثلاً لنسبة ثاني أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض ) وغازات النتروجين وهدد شروق الشمس على سطح المريخ تبلغ درجة حرارته نحو - ٦٠٠ ف ، وعند الظهر ترتفع الحرارة إلى ٧٠٠ ف وتؤدى هذه الحرارة المرتفعة انصهار الثلج الرقيق السمك المتراكم فوق أعالي الجبال .

وقد اهتمت وكالة دراسات الفضاء الأمريكية بدراسة كوكب المريخ ، وقد استعانت فى سبيل ذلك بمركبة الفضاء الأمريكية التى أطلق عليها اسم « فايكنج ١ » ومركبة ثانية مزودة بأحدث ما توصل إليه التقدم العلمى وأطلق عليها اسم « فايكنج ٢ » .

وقد اختير موعد إطلاق مركبتى الفضاء فايكنج ١ ، ٢ عندما تكون المسافة بين الأرض والمريخ أقرب ما يكون ، وذلك لاستهلاك أقل قدر من

الطاقة ، وهى فرصة لا تتاح إلا مرة واحدة كل ٢٥ شهراً تقريبا . وقد أطلقت مركبتا فايكنج ١ ، ٢ ، فى يومى ١١ و ٢١ اغسطس ١٩٧٥م على التوالي وتستغرق الرحل من الأرض إلى المريخ عن طريق هاتين المركبتين نحو ستة كاملة .

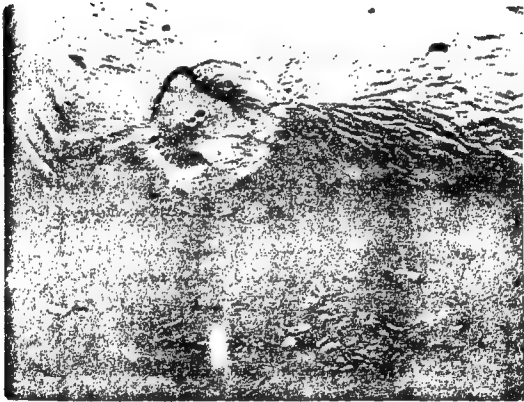
وقد زودت هاتان المركبتان بالآت تصوير متطورة للاستشعار من بعد وبحيث يمكنهما تصوير أشياء محددة حتى ٥٠ متراً من المدار الذى يبعد ١٥٠٠ كيلو متر حول المريخ ، كما زود كل من المركبتين بجهاز للكشف عن الماء فى الجو وبحيث يستطيع اكتشاف أى تركيزات من بخار الماء فوق أماكن الهبوط . وبعد هبوط المركبة يتجه الجهاز لاستكشاف بخار الماء فى أماكن أخرى وإنشاء خرائط كاملة لتوزيع بخار الماء فى الغلاف الجوى للمريخ . وهذا الجهاز خاص بالتحليل الطيفى ويعمل بالأشعة تحت الحمراء وهو بالغ الدقة . كما أن هناك أجهزة أخرى لرسم خرائط حرارية للمريخ تعمل بالأشعة تحت الحمراء تستطيع اكتشاف وتحديد المناطق التى تختلف فى درجة حرارتها ولها بؤلختلاف بسيط جداً وتتمثل أهم النتائج العلمية الحديثة التى توصلت إليها مجموعة الباحثين القائمين على مشروع فايكنج لاكتشاف المريخ فى الآتى :

١ - أن درجة الحرارة على سطح المريخ منخفضة جداً ، حيث قد تصل إلى حوالى ٨٦ تحت الصفر بعد غروب الشمس وإلى نحو ٢٠ تحت الصفر اللئوى فى منتصف النهار .

٢ - أن الضغط الجوى للمريخ ضعيف للغاية وقليل الكثافة ، حيث يقدر بنحو ١/١٠٠ من الضغط الجوى على سطح الأرض .

٣ - أن سطح المريخ عبارة عن صحراء تتلون ترتبها باللون الأحمر أو بلون الصند وتتغطى بطبقة رقيقة من أكاسيد الحديد . كما صرح الدكتور رونالد سكوت . وأوضح أن تربة المريخ ( الرواسب السطحية ) تتميز بجزئياتها للمتاسكة والمتلاحمة ، ومن ثم فهى تختلف اختلافاً كبيراً عن كثير من مناطق الرمال بالصحارى الحارة الجافة على سطح الأرض ( شكل ٢٠ ) .

٤ - أكد العلماء كذلك أن أول نتائج تحاليل تربة المريخ لم تستبعد تماماً احتمالات وجود شكل من أشكال الحياة على هذا الكوكب ، وأن المكونات الأساسية لتربة المريخ هي الحديد والكالسيوم والسليكون والتيتانيوم والألمنيوم ، وأثار لعادن أخرى مثل الريبديوم والسترونتيوم . كما أعلن الدكتور كلاين أن نتائج التجارب التي أجرتها « فايكنج ١ » على سطح المريخ قد أثبتت وجود كمية وفيرة من الأكسجين تحمل على الاعتقاد بأن هناك نوعاً من الحياة الدقيقة على سطح هذا الكوكب .



( شكل ٢٠ ) كعم أحد المخروطات البركانية في كوكب المريخ ويرجح العلماء بأن براكيت أقدم عمراً من براكيت كوكب الأرض

هذا ويتشكل سطح المريخ بالفوهات العميقة وتجويفات للنيازك والشهب إلا أنها أقل عدداً من تلك التي تتمثل على سطح القمر . ويتعرض سطح المريخ كثيراً لفعل العواصف الترابية الشديدة .  
المشتري - زحل - أورانوس - نبتون :

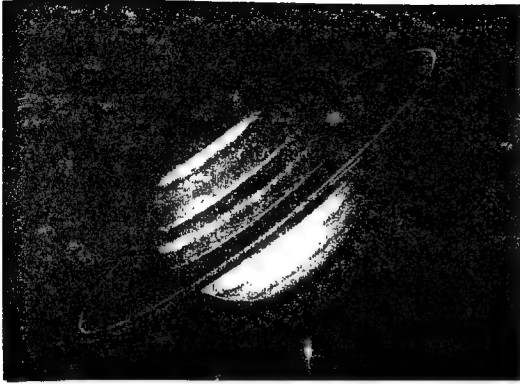
تتشابه هذه المجموعة من الكواكب في أنها تدور بسرعة من ناحية . كما أن لكل منها غطاء جويًا يتألف أساساً من غازات الميثان والنشادر والهليوم والهيدروجين من ناحية أخرى ، وفي عدم وجود ملامح لأي نوع من الحياة فوق أي كوكب منها .

ويتبين أن للمشتري ١٢ قمراً تابعاً له ، وتبلغ كتلة المشتري نحو ٣٠٠ مثل لكتلة الأرض . ويزيد نصف قطره عن ١٠ أمثال نصف قطر الأرض ، كما يزيد حجمه ١٠٠٠ مثل لحجم الأرض . ويدور المشتري حول نفسه بسرعة ، حيث يتم دورة كاملة حول محوره كل ٩ ساعات و ٥٥ دقيقة . ويظهر بالمشتري كثير من البقع الحمراء والتي شوهدت لأول مرة منذ عام ١٨٧٨م ولم تفسر نشأتها حتى الوقت الحاضر .

أما زحل فيميزه منظره الجميل في الفضاء الكوني والهالة الحلقية التي تحيط به ( شكل ٢١ ) . وتتألف هذه الهالة الحلقية من أجسام صغيرة كونية تدور جميعها حول كوكب زحل ، ومن المحتمل أن بعض هذه الأجسام الصغيرة مغلف بطبقة من الثلج . وكوكب زحل تسعة أقمار ولأحدها - كوكب تيتان Titan - غلاف جوي سميك ويكثر فيه الثلج وغاز النشادر وبعض الغازات الخفيفة ، وتقدر الكثافة النوعية لزحل بنحو ٠,٧ .

ومن دراسات الخصائص الطبيعية للشمس وكواكب المجموعة الشمسية استطاع تيرفار في عام ١٩٤٨م أن يستخلص أربع ملاحظات رئيسة تتلخص فيما يلي :

- ١- أن مدارات كواكب المجموعة الشمسية عبارة عن مدارات إهليلجية ، أي قريبة من الدائرية ، وفي ظاهرة لاحظناها كبلر ( ١٥٧١ - ١٦٣٠م ) من قبل ، هذا وأن الكواكب تقع في مستوى واحد ، وتدور جميعها حول الشمس في اتجاه واحد من الغرب إلى الشرق .



شكل (٢١) الحلقات الغازية حول كوكب زحل ويدخل فيها بقايا

قطع صخرية واثيرة وتلوج

٢ - انتظام المسافة بين الكواكب والشمس وإن كل منها مداره الخاص

٣- اختلاف الكثافة بين كل كوكب وآخر ، بحيث تقل كثافة الكواكب بشكل عام مع البعد عن نجم الشمس .

٤ - تنقسم كواكب المجموعة الشمسية إلى مجموعتين هما :

أ - الكواكب الداخلية : وتشمل عطارد والزهرة والأرض والمريخ .  
وتتميز بأنها كبيرة الحجم ، بطيئة الدوران ، عالية الكثافة ولبعضها عدد محدود من التوابع القمرية .

ويوضح الجدول الآتي العلاقة بين الكواكب السيارة الأربعة الداخلية من حيث متوسط بعدها عن الشمس وكتلتها وكثافتها .

الكوكب السيارة	متوسط البعد عن الشمس	الكتلة	متوسط الكثافة
عطارد	٠,٣٨٧	٠,٠٥٤	٤,٥ - ٥,٠
الزهرة	٠,٧٢٢	٠,٨١٣	٤,٨
الأرض	١,٠٠٠	١,٠٠٠	٥,٥
المريخ	١,٥٢٣	٠,١٠٨	٤,٠ - ٤,٢

ومن المعلوم أن الأرض تنور حول الشمس في مسار شبه دائري، يبعد عن الشمس في المتوسط بنحو ١٥٠ مليون كم ، وقد اعتبرت هذه المسافة تساوي الممدد ١ ومن دراسة هذا الجدول يتضح كذلك أن الأرض أكبر هذه الكواكب السيارة من حيث الكتلة ( كتلة جسم ما هي إلا مقياس لمقدار ما يحتويه من مادة ) ولذا كانت كتلة الأرض تساوي ١ ، فإن كمية المادة التي تتمثل بالمريخ تقدر بنحو ١٠٪ من كمية المادة التي تتمثل بالأرض ، أما عطارد فكتلته نحو ٥٪ من كتلة الأرض والزهرة نحو ٨١٪ من كتلة الأرض . وتعد الأرض كذلك أكبر هذه الكواكب السيارة من حيث متوسط كثافتها التي تقدر بنحو ٥,٥ . وتعد هذه الأرقام في الجدول نسبية ومقربة إلى حد ما ، وذلك يرجع إلى صعوبة عمليات قياس كثافة الكواكب بدقة ، وخاصة أن عطارد يبعد قريباً من الشمس ، بينما يحيط بالمريخ هالة من الغازات تحول دون تحديد كثافته بدقة .

ب - الكواكب الخارجية : وتشمل المشتري وزحل وأورانوس ونبتون ، وهي كبيرة الحجم ، محدودة الكثافة ، سريعة الدوران ولبعضها عدد كبير من التوابع القمرية .

ويوضح الجدول الآتي العلاقة بين هذه الكواكب السيارة الخارجية أو الكبرى من حيث متوسط بعد كل منها عن الشمس واختلاف كتلتها وكثافتها .

متوسط الكثافة	الكتلة	متوسط البعد عن الشمس	الكوكب السيارة
١,٣٥	٣١٨,٣٥	٥,٢٠٣	المشتري
٠,٧١	٩٥,٣	٩,٥٣٩	زحل
١,٥٦	١٤,٥٨	١٩,١٩٠	أورانوس
٢,٤٧	١٧,٢٦	٣٠,٠٧١	نبتون

وأهم ما يميز مجموعة الكواكب السيارة الخارجية الكبرى عن الداخلية هو كثافتها القليلة جداً على الرغم من أن كتلتها كبيرة . فعلى الرغم من أن كتلة المشتري تبلغ نحو ٣١٨ مثلاً لكتلة الأرض فإن كثافته تمثل نحو ١,٣ فقط ، وكتلة زحل نحو ٩٥ مثلاً لكتلة الأرض إلا أن كثافته نحو ٠,٧ من كثافة الأرض .

ويرجح الفلكيون من أمثال هويل بأن هذه الكواكب السيارة الكبرى تمتلئ على نسب معتدلة من أخف العناصر وزناً ومن بينها الأيدروجين ، فتصل نسبة هذا الغاز الأخير إلى نحو ٤٠٪ في زحل ، ونحو ٢٠٪ في المشتري وإلى أقل من ذلك في كل من أورانوس ونبتون .

ومن نتائج هذه الدراسات الفلكية للمجموعة الشمسية يمكن أن  
تلخص الآتى :

(١) اختلاف المسافة بين كل من الكواكب السيارة والشمس :

تقع الكواكب السيارة السابقة الذكر فى مواقع مختلفة وتبعد عن  
الشمس بمسافات هائلة الإمتداد . وتعد كواكب عطارد ، والزهرة ،  
والأرض ، والمريخ من الكواكب القريبة نسبياً من الشمس إذ يبعد عطارد  
عنها بنحو ٣٦ مليون ميل ، والزهرة بنحو ٦٧ مليون ميل ، والأرض  
بنحو ٩٣ مليون ميل ، والمريخ بنحو ١٤٢ مليون ميل . ومن بين الكواكب  
البعيدة عن الشمس ، نبتون ، وبلوتو ، إذ يبعد الأول عن الشمس بنحو  
٢٧٩٧ مليون ميل ، فى حين يبعد الكوكب الثانى عن الشمس بنحو  
٣٦٧٠ مليون ميل .

وإذا إتخذنا المسافة التى تقع بين مركزى الأرض والشمس والتى تبلغ  
نحو ٩٣ مليون ميل واعتبرناها وحدة قياس للمسافة Astronomical  
Unit أى تساوى ١ فإننا سنجد أن الكواكب تبعد عن الشمس بالوحدات  
الآتية : عطارد ٠,٣٩ وحدة - الزهرة ٠,٧٢ وحدة - نحل ٩,٥٤ وحدة -  
أورانوس ١٩,١٩ وحدة - نبتون ٣٠,٠٧ وحدة - بلوتو ٤٩,٤٦ وحدة .

(٢) خصائص دوران كل كوكب حول مداره ، وحول الشمس :

يرجع الفضل إلى العالم الفلكى كبلر ( ١٥٧١ - ١٦٣٠ ) فى إيضاح  
معلوماتنا عن دوران كل من كواكب المجموعة الشمسية حول محورها من  
ناحية وحول جسم الشمس من ناحية أخرى . وقد أكد هذا الباحث بأن لكل  
من هذه الكواكب مداره الخاص حول الشمس ، وأغلب هذه المدارات  
بيضاوية أو إهليلجية الشكل ، وليست دائرية الشكل تماماً كما إعتقد بذلك  
كوبرنيكوس من قبل . وقد أكد كبلر حقيقتين هما -

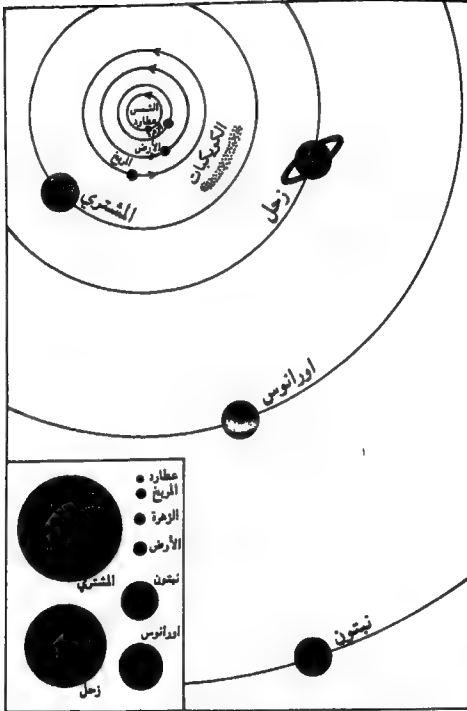
١- أن جميع كواكب المجموعة الشمسية تدور حول الشمس فى  
مدارات ثابتة ولكن بسرعة تختلف من كوكب إلى آخر .

ب- تشابه زاوية ميل المحاور الخاص ببعض هذه الكواكب ، ويقصد بذلك زاوية ميل كل كوكب عن وضعه العمودى . فزاوية ميل محور الأرض ٢٣,٥ والمريخ ٢٥,٢ والمشتري ٢٦,١ .

ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس تتم دورة كاملة حول الشمس فى مدة زمنية أقصر نسبيا من تلك التى تقع بعيدة عن الشمس فعطارد يتم دورة كاملة واحدة حول الشمس فى مدة ٨٨ يوما ، والزهرة فى ٢٢٥ يوما ، والأرض فى مدة سنة ، فى حين يتم أورانوس دورة واحدة حول الشمس فى مدة تبلغ نحو ٢٤٧ سنة . ولا يؤثر فى طول المدة الزمنية التى يستغرقها كل كوكب فى مداره ودورانه دورة كاملة حول الشمس مدى المسافة الفاصلة بينه وبين الشمس فقط ، بل كذلك مدى سرعة كل كوكب فى المدار الذى يتبعه فيسبح عطارد فى مداره بسرعة تبلغ نحو ٣٠ ميلا فى الثانية ، والأرض بنحو ١٨,٥ ميلا فى الثانية ، والمشتري بنحو ٨ أميال فى الثانية ، وأورانوس بنحو ٤ أميال فى الثانية ( شكل ٢٢ ) ويوضح الجدول الأتى البعد بين كل من كواكب المجموعة الشمسية عن الشمس ، وطول الفترة الزمنية التى يستغرقها كل كوكب عند دورانه دورة واحدة كاملة حول الشمس ، ومتوسط سرعة دوران كل نجم فى فى مداره بالأميال فى الثانية (١) .

---

(1) Smart, M., "The origin of the Earth" A. Pelican Book London 1959. p.28.



شكل (٢٢) كواكب المجموعة الشمسية ودوراتها حول الشمس

لاحظ اختلاف البعد بين كل منها وبين الشمس وكذلك لاختلاف حجم كل منها

المركب	البيد عن القسم		الكوكب
	على أساس البيد	ملايين الأميال	
المحيط الفارسي كل كوكب	بين القسم والأرض يساري	٣٦	محيط
٢٠ سحب كوكب زحل	٠,٣٨٧	٦٧	الزبدية
٢٢ القسم الكوكبية	٠,٧٢٣	٩٣	الأرض
١٨,٥ علاق غازي مكون من الأجزاء والشمس	١,٠٠٠	١٤٢	الشمس
١٥ سحب كوكب زحل	١,٥٢٤	٤٨٤	الشمس
٨ سحب كوكب زحل	٩,٢٠٣	٨٨٧	الشمس
٦,٥ غازات الأجزاء	٩,٥٣٩	١٧٨٥	زحل
٤ سحب كوكب	١٩,١٢٠	٢٧٩٧	الأجزاء
٢,٥ سحب كوكب	٣٠,٠٧٠	٣٦٧٠	الشمس
٣ سحب كوكب	٣٩,٤٦٠		الشمس

### (٣) اختلاف حجم الكواكب :

تختلف كواكب المجموعة الشمسية فيما بينها من حيث الحجم . وتتميز الكواكب القريبة نسبياً من الشمس ( عطارد والزهرة والأرض والمريخ ) بكونها صغيرة الحجم . ويعد كوكب الأرض أكبر هذه المجموعة حجماً ، ومع ذلك لا يزيد للمتوسط العام لقطر الأرض عن ٧٩٢٧ ميل أى ما يعادل  $\frac{1}{30000}$  من قطر الشمس <sup>(١)</sup> . ويبلغ قطر عطارد نحو ٣٠٠٠ ميل . أما مجموعة الكواكب البعيدة نسبياً عن الشمس ( المشتري وزحل و اورانوس و بلوتو ) فتتميز بكونها أكبر حجماً حيث يبلغ قطر اورانوس ٣١,٠٠٠ ميل والمشتري نحو ٩٠,٠٠٠ . وإذا اتخذنا قطر الأرض واعتبرناه وحدة قياس أى يساوى ١ لتبين أن قطر عطارد يبلغ نحو ٠,٣٨ وحدة ، والزهرة ٠,٩٧ وحدة ، والمريخ ٠,٥٠ وحدة والمشتري ١١,٠ وحدة ، وزحل ٩,٥٠ وحدة ، واورانوس ٤,٠٠ وحدات ، ونبتون نحو ٣,٨٠ وحدة ويوضح شكل (٢٢) الأشكال المختلفة لكواكب للمريخ والمشتري وزحل ، كما يراها الفلكيون فى الفضاء الخارجى بواسطة أجهزة الرصد الفلكية .

### (٤) اختلاف كتلة الكواكب :

تتنوع كتلة الكواكب تبعاً لاختلاف حجم كل منها ، ومن ثم تعد الشمس أكبر الكواكب كتلة . ولو اتخذنا كتلة الأرض كوحدة للقياس لأصبح كتلة القمر التابع لها نحو  $\frac{1}{81}$  من كتلة الأرض فى حين تزيد كتلة الشمس عن ٣٣٤,٤٠٠ مثلاً لكتلة الأرض . ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس والصغيرة الحجم تتميز كذلك بصغر كتلتها فتبلغ كتلة عطارد  $\frac{1}{37}$  والزهرة  $\frac{9}{32}$  والمريخ  $\frac{1}{4}$  من كتلة الأرض . أما مجموعة الكواكب التى تقع بعيدة نسبياً عن الشمس والكبيرة الحجم تتميز بكون كتلتها بالنسبة لكتلة الأرض . فتبلغ كتلة زحل نحو ٩٥ والمشتري نحو ٣١٨ مثل لكتلة الأرض .

(1) Holmes , G. d., " College Geology " , N Y ., 1962. p. 15.

### (٥) اختلاف كثافة الكواكب :

أكدت الدراسات الفلكية أنه لو اتخذنا الكثافة العامة للمياه كوحدة للقياس المقارن لتحديد كثافة كتل كواكب المجموعة الشمسية لإتضح أن كثافة الكوكب التي تقع بعيدة عن الشمس والصغيرة الحجم أكبر بكثير من كثافة تلك الكواكب التي تقع بعيدة عن الشمس والكبيرة الحجم . وعلى سبيل المثال يتضح أن الكثافة العامة للأرض تبلغ ٥,٥٢ ، والزهرة ٥,٢١ ، والقمر ٣,٣٤ ، في حين تبلغ للكثافة العامة لكوكب المشتري نحو ١,٣٣ ، وزحل ٠,٦٩ ، وأورانوس ١,٣٦ ، وبلوتو ١,٣٢ ومعنى ذلك أن هذه الكواكب الأخيرة تتألف من غازات ومواد خفيفة الوزن قليلة الكثافة .

### الأقمار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية :

لم يعرف الفلكيون أن لبعض كواكب المجموعة الشمسية أقماراً تابعة لمoons or Satellites لها وتنبور حولها في فلكها إلا بعد أن اكتشف جاليليو منظاره الفلكي في عام ١٦١٠ م ، وشاهد لأول مرة الأقمار الأربعة الرئيسية التابعة لكوكب المشتري . وبعد تطور صناعة أجهزة الرصد الفلكية تحقق العلماء من حقيقة الأقمار التابعة لبعض كواكب

الكوكب	عدد الأقمار	كثافة كل كوكب	كثافة كل كوكب بالنسبة لكثافة المياه
المعطيات	المعطيات	المعطيات	المعطيات
الشمس	٨٦٥,٠٠٠	٣٣٣,٤٠٠	١,٤١
القمر	٢,١٦٠	٨١/١	٣,٣٤
عطارد	٢,٠٠٠	٢٧/٠	٣,٧٣
الزهرة	٧,٦٠٠	٦/٥	٥,٢١
الأرض	٧,٩١٠	١	٥,٥٢
المريخ	٤,٢٠٠	٩/١	٣,٩٤
المشتري	٨٦,٠٠٠	٣١٨	١,٣٤
زحل	٧٠,٠٠٠	٩٥	٠,٦٩
أورانوس	٣٠,٩٠٠	$١٤ \frac{٣}{٥}$	١,٣٦
بلوتون	٣٣,٠٠٠	$١٧ \frac{١}{٥}$	١,٣٢
بلوتو (غير معروف)	-	- ٣	-

المجموعة الشمسية ، بل وشاهدوا ١٢ قمراً تتبع كوكب المشتري ،  
وتسعة أقمار تابعة لكوكب زحل . وقد تبين أن لكوكب الأرض قمراً واحداً  
يعرف باسم « القمر » ، ويبعد عن الأرض بنحو ٢٤٠,٠٠ ميل ويدور في  
مدار يرتقي الشكل حول الأرض في مدة تستغرق نحو ٢٧.٢ يوم .  
ويبلغ قطر القمر نحو ٢,١٦٠ ميل .

الكوكب الرئيسي	الأسماء الشائعة	قطر كل قمر (ميل)	متوسط البعد بين كل قمر والكوكب الرئيسي الذي يتبعه (مليون ميل)	طول الفترة الزمنية التي يستغرقها كل قمر ليعبر واحدة حول الكوكب الرئيسي
الأرض للربيع	القمر لوبيس	٢,١٦٠ ٤٠	٢٤٠,٠٠٠ ٥,٨٠٠	٢٧ يوما ٨٠ ساعات
المشتري	ديموس ايو	١٠ ٢,١١٠	١٤,٦٠٠ ٢٦٢٩,٠٠٠	٧ ساعات ٣٩ دقيقة ١ يوم ١٨ ساعة
	أوروبا جانيميد	١,٨٦٥ ٢,٢٧٢	٤٢١,٠٠٠ ٦٦٥,٠٠٠	٢ أيام ١٢ ساعة ٣ أيام ٤ ساعة
	جالستو جالستو ٥	٢,١٤٢ من ١٠٠ - ١٢	١,١٧٠,٠٠٠ من ٧,٠٠٠,٧٠٠	١٦ أيام ١٧ ساعة من ٢٥ يوما
	ولاوس و-١١ و-١٢ ١٢		١٤,٠٠٠,٠٠٠ إلى	إلى ٦٢١ يوما
زحل	ميماس انسيلادوس	٣٧٠ ٤٦٠	١١٥,٠٠٠ ١٤٧,٠٠٠	٢٢ ساعة ٣٧ دقيقة ١ يوم ٩٠ ساعات
	تيتس ديون	٧٥٠ ٩٠٠	١٨٢,٠٠٠ ٢٣٢,٠٠٠	١ يوم ٢١ ساعة ٢ يوم ١٨ ساعة
	رهيا تيتان	١,١٥٠ ٢,٣٥٠	٣٢٦,٠٠٠ ٧٥٥,٠٠٠	٤ أيام ١٢ ساعة ١٥ يوما ١٢ ساعة
	هيبيرون أبيثوس	- -	٩١٤,٠٠٠ ٢,٢٠٠,٠٠٠	٢١ يوما ٧ ساعات ٧٩ يوما
	فوبوس أندل	- -	٨٠٠٣,٠٠٠ ١١٨,٥٠٠	٥٥٠ يوما ٢ يوم ١٢ ساعة
أورانوس	أوبيريل تيغانيا	- -	١٦٥,٠٠٠ ٢٧١,٠٠٠	٤ أيام ٣ ساعات ٧ أيام ١٧ ساعات
	أوبرون ميراند	- -	٣٦٦,٠٠٠ ٧٦,٥٠٠	١٢ يوما ١١ ساعة ٣١ ساعة
نبتون	تريتون نريده	- -	٢١٨,٠٠٠ -	٥ أيام ٢١ ساعة -

وتقدر كتلته بالنسبة لكتلة الأرض  $\frac{1}{18}$  في حين تبلغ كثافة المواد التي يتألف منها بالنسبة لكثافة المياه نحو ٢,٢٤ .

ويختلف القمر عن كوكب الأرض في أنه غير محاط بغلاف غازي مثل ذلك الذي يحيط بالأرض والذي ساعد على ظهور المظاهر الحيوية فوق سطح الكوكب . ويوضح الجدول السابق بيان بالآثار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية ، وقطر كل منها ، ومتوسط طول المسافة بينها وبين الكوكب الرئيسي الذي تتبعه ، وطول الفترة الزمنية التي يستغرقها كل قمر عند دورانه دورة واحدة كاملة حول الكوكب الرئيسي الذي يتبعه (١) .

وعلى ذلك يتمثل بالمجموعة الشمسية حسب معلوماتنا اليوم تسعة كواكب سيارة رئيسية ويتبعها ٣١ قمرا بغض النظر عن مجموعة الكويكبات التي تقع فيما بين المريخ والمشتري ، والهالة العظمى التي تحيط بكوكب زحل . وقد أكد الأستاذ سمارت W.M. Smart في عام ١٩٥٩م بأن الحلقة الدائرية حول كوكب زحل تتألف من توابع قمرية صغيرة الحجم جدا ، ( حيث يقل قطر كل منها عن ٦٠ ميلا ) ، ومن الصعب أن يحصى عددها ، ومن ثم فهي أشبه بهالة مستديرة الشكل من الغبار الجوي . ورجح بأن مثل هذه التوابع القمرية الصغيرة تنشأ نتيجة لتفتت الأقمار أو الكواكب الأكبر حجما . وفي ٢ يناير عام ١٩٥٩م أطلق العلماء الروس صاروخا إلى الفضاء الكوني استطاع أن يخرج من مجال جاذبية الأرض ليتخذ له مدارا هو الآخر حول الشمس ، ومن ثم أصبح أول تابع صناعي للمجموعة الشمسية .

(١) أ- د. حسن أبو العينين « سطح هذا الكوكب » بيروت (١٩٦٧) .

(٢) ب- د. حسن أبو العينين « كوكب الأرض » الطبعة العاشرة

الأسكندرية - مؤسسة الثقافة الجامعية (١٩٨٨) .

ج- د. حسن أبو العينين « من الإعجاز العلمي في القرآن الكريم » - الجزء الأول مع آيات الله في السماء - مطبعة المبيكان - السعودية (١٩٩٦) .

د. حسن أبو العينين « من الإعجاز العلمي في القرآن الكريم » - الجزء الثاني مع آيات الله في الأرض - مطبعة المبيكان - السعودية (١٩٩٦) .

## الشهب والنيازك والمذنبات

تسبح فى الفضاء الساموى للمجموعة الشمسية اجسام كونية اخرى لا تنتمى مداراتها إلى المدارات الإهليلجية المنتظمة لكواكب المجموعة الشمسية حول الشمس ، بل هى تجرى فى مدارات غير منتظمة وتتدفق بسرعة شديدة جداً كالقذائف النارية فى اتجاهات مختلفة ويطلق عليها اسم الشهب Meteors والنيازك Meteorites والمذنبات Comets . وتمثل هذه الأجسام الكونية الغريبة فى السماء الدنيا القريبة من كوكب الأرض ، وينتج عن احتراقها وتفتتها لهب شديد . وقد أسهم الغلاف الغازى وحزام دقان إلز، الذى يحيط بكوكب الأرض على حفظ الأرض وسلامتها من الأضرار التى قد تنتج عن تساقط بقايا الشهب والنيازك ومفتقاتها المحرقة على سطح الأرض . وإذا تصادف سقوط قطعة صخرية صغيرة الحجم من النيازك على سطح الأرض فإنها تتسبب فى تكوين أحواض عميقة واسعة ، وتسهر مفتقات الشهب والنيازك النارية المحرقة صخور قشرة الأرض بدرجة أقوى من تأثير القذائل المتفجرة النووية التى يعرفها البشر .

**الشهب Meteors :** تعتبر الشهب من الناحية العلمية كرات ثلجية Snow balls تتألف من الغازات المنفصلة مع الأتربة الكونية ، ويتراوح قطر الكرة الواحدة منها من عدة مئات من الأمتار إلى عدة عشرات من الكيلومترات . وتسبح الشهب فى مدارات غير منتظمة الاتجاه وأغلبها طولية الشكل وعندما تقترب الشهب من الشمس تنبخر كميات كبيرة من موادها بفعل احتراقها ، ويشتد لمعانها فى الفضاء الساموى ، وقد لا يتبقى من أجسامها بعد احتراقها سوى قلبها المركزى (١) .

ويختلف حجم الشهب بنسبة كنسبة حجم حبة الرمل إلى حجم حبة الحصى أو الزلط ، إلا أنها تتميز جميعاً بشبيرة درجة توهجها سرعة سقوطها صوب سطح كوكب الأرض ( تتراوح السرعة من ٢٠ إلى ٤٠ ميل فى الدقيقة ) ، وينجم عن احتكاك أجسام الشهب الملتهبة بالغلاف الجوى

(١) حسن أبو العينين « للرجع السابق » (١٩٨٨) ص ٤٧ - ٥٢ .

تحويل كل المواد المختلفة التي تلتصق بها أو تصطدم معها إلى أبخرة وغازات . وتسبح الشهب في الفضاء الكوني كذلك بسرعة هائلة إلا أنها تختلف فيما بينها من حيث اتجاه مسالكها .

وقد اختلف العلماء حول تفسير نشأة الشهب وتحديد أصلها ، فيذكر بعض العلماء أن الشهب تمثل بقايا صغيرة متناثرة من المجموعة الشمسية التي نعرفها اليوم ، ثم تعرضت لعمليات الانقسام والتفتت ، وأخذت تتساقط ووصل بعض بقاياها إلى سطح الأرض . ويرى بعض آخر أن الشهب قد تمثل بقايا مواد كونية مفتتة آتية من فضاء خارجي كغير ذلك الذي نعرفه وتقع فيه عائلة المجموعة الشمسية . وقد شاهد الفلكيون فعلا بعض الشهب ، وقد احتلت لها مدارات مختلفة حول الشمس ، ومنها الشهب المعروفة باسم ليونيد Leonids والتي شاهدها العلماء في عام ١٨٦٦ م وهي تدور حول الشمس ، وتستغرق الدورة الواحدة لها حول الشمس نحو ٣٢.٢٠ سنة . وتكررت تلك الملاحظات الفلكية من جديد ، حيث شاهد الفلكيون بعض الشهب وتدور حول الشمس في عام ١٨٩٩ م ، وفي عام ١٩٣٢ م .

#### النيازك : Meteorites

تشبه النيازك الشهب في أنها أجسام كونية آتية من الفضاء السماوي الخارجي Outer Space ، وقد تتساقط بقاياها فوق سطح كوكب الأرض ، إلا أن النيازك تتدفع بسرعة هائلة في الفضاء السماوي وتتدفع منها السنة نارية ملتهبه حارقة، ويطلق العلماء عليها اسم النجوم النارية Shooting Stars .

والنيازك تعد أكبر حجماً نسبياً من الشهب ، وعلى ذلك لا تحترق مواد النيازك كلية أثناء عبورها طبقات الغلاف الجوي ، بل قد تصل بعض أجزاء من موادها إلى سطح الأرض . ويختلف وزن بقايا النيازك التي تصل إلى سطح الأرض من بضعة أرطال إلى بعضة أطنان ، وكان من أكبر النيازك حجماً تلك التي عثر عليها فوق جزيرة جرينلند وكان يبلغ وزنها

نحو ٢٦ طناً ، وقد حفظت بقايا تلك النيازك فى متحف التاريخ الطبيعى الأمريكى بنيويورك . كما عثر على بقايا نيازك آخر بالقرب من جروتفنتين Grootfontein بجنوب غرب افريقيا وكان وزنها نحو ٦٠ طناً . كما عثر على بقايا لأجسام النيازك الحديدية بالقرب من مدينة هنبرى Henbury بأستراليا .

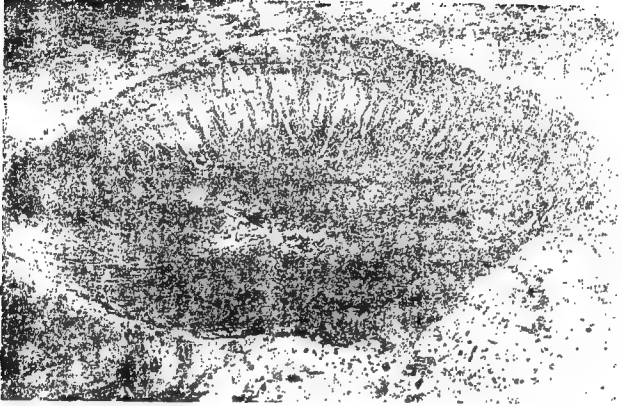
وعلى الرغم من ندرة مواد النيازك وبقاياها التى يعثر عليها فوق سطح الأرض ، فقد استطاع الجيولوجيون معرفة التركيب المعدنى العام لبقايا النيازك ، وأوضحت الدراسات الجيولوجية بأن مادة النيازك تختلف لعملية برودتها فوق سطح الأرض ، وما انتابها من تغيرات أثناء عمليات سقوطها نحو سطح الأرض . فقد تتركب بعض مواد النيازك من معادن ثقيلة أهمها الحديد والنيكل ، وتعرف هذه المجموعة من النيازك باسم Ho siderites وتتميز معادن النيازك هنا بكونها هائلة التبلور مما يدل على أنها تكونت ببطء تمت تأثير عمليات برودة تدريجية . فى حين يتألف بعضها الآخر من معادن متداخلة مختلفة تعرف باسم Syssiderites and SporadoSiderite وهناك مجموعة أخرى من النيازك تتركب من معادن وصخور تعرف باسم Asiderites ويلاحظ أن النيازك الصخرية هى الأكثر شيوعاً ، وقد يكون سبب نشأتها انفجار كويكب تشبه مواده تلك يتألف منها كويكب الأرض . وتتألف النيازك الصخرية من معادن ثقيلة جداً ويبلغ عمر بعض قطع النيازك الصخرية نحو ٤,٦ بليون سنة .

وقد تعرضت الأراضى المصرية مثلها مثل بقية معظم أجزاء سطح الأرض لتساقط مفتتات النيازك ، فقد عثر الجيولوجيون على ما يعرف الآن باسم نيزك أسنا على بعد ١٠٠ كم جنوب غرب أسنا ، ويعد هذا النيزك من اكبر النيازك التى سقطت فوق الأراضى المصرية حيث كان وزنه ٢٣ كيلو جراماً ، وأن كان حجمه الأصلى ربما كان يزيد على عدة آلاف لمثل حجمه الحالى وذلك قبل دخوله منطقة الغلاف الغازى للأرض . وقد أعاد هذا النيزك الى الأذهان نيزك الخفلة ( مركز أبو حمص ) ونيزك دنشال ( قرية بين دمنهور وكفر الزيات ) اللذان سقطا فى عام ١٩١١ .

وقد رجح الجيولوجيون بأن النيزك الذى سقط فوق منطقة اسنا يعد حديث العمر وذلك تبعا لآثار الحريق الممتدة فى جدران الحفرة التى كان مدفونا فيها . وقد أوضح التحليل الكيميائى لمفتتات النيازك فى مصر بأنها تتكون أساسا من الحديد والنيكل وبعض المعادن الثقيلة مثل تلك التى تتمثل فى باطن الأرض .

ولكن حتى الوقت الحاضر لم يستطع العلماء تفسير كيفية تكوين « طابع » Imprint النيازك والحفر الهائلة التى تكونها فوق سطح الأرض . فقد استطاعت بقايا النيازك الصغيرة الحجم التى سقطت فوق سيبريا وتلك التى سقطت فوق أريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية أن تكونا حفرا هائلة العمق ( متوسط عمقها نحو ١٠٠ متر ) ويزيد قطرها على ٨٠٠ متر . ويرجح البعض أن مثل هذه الحفر العميقة فى سطح الأرض تشبه قوهات سطح القمر المضرس ، ومن ثم فإنها قد تعزى إلى شدة سرعة بقايا النيازك عند اصطدامها بسطح الأرض وإلى شدة سخفونتها عند سقوطها . ومن ثم لا بد من إجراء المزيد من الأبحاث حتى يمكن أن ندرك العوامل التى ساعدت على تكوين هذه الحفر بفعل تلك الأجسام الكونية الصغيرة ( شكل ٢٣ ) .

ومن المواد الكونية الأخرى التى وجدت بقاياها على سطح الأرض ويرجح العلماء أنها لا تنتمى إلى المجموعة الشمسية ، تلك المعروفة باسم التكتيت Tektites وتشبه هذه المواد الكونية إلى حد كبير الزجاج النارى الطبيعى ( أوبسيديان Obsidian ) ، ويعتبرها بعض الباحثين من إحدى مجموعات النيازك . وتتنوع أشكال هذه المواد ، حيث يظهر بعضها ببيضاوى الشكل والبعض الآخر كروياً أو غير منتظم الشكل . كما يختلف حجم بقاياها من حجم البيضة إلى حجم كرة القدم . وقد عثر على بقايا هذه المواد فى مواقع متفرقة من أستراليا والفلبين وجنوب شرق آسيا . وقد اكتشف الأستاذ كلايتون بقايا للزجاج الطبيعى الكونى فى أجزاء متفرقة من صحراء مصر الغربية .



(شكل ٧٢) قومة حوضية تنجت من تساقط بقايا النيازك فوق صحراء أريزونا غرب الولايات المتحدة الأمريكية منذ أكثر من ٢٠ ألف سنة مضت .

#### المذنبات : Comets

تشاهد المذنبات بواسطة أجهزة الرصد الفلكية المقربة من فوق سطح الأرض على شكل بقع سديمية مضيئة ، وتشتد درجة توهجها في منطقة رؤوسها ، كما يمتد من أجسامها ألسنة أو ذيول متغيرة في الفضاء . وتدور المذنبات حول الشمس في مدارات مختلفة وبسرعة هائلة إلا أنها تتفاوت من مجموعة إلى أخرى . فيدور بعض المذنبات في مدارات بيضاوية الشكل ، في حين يدور بعضها الآخر في مدارات شبه مستطيلة وأخرى في مدارات شبه بيضاوية الشكل . ومن أجمل المذنبات تلك التي شوهدت

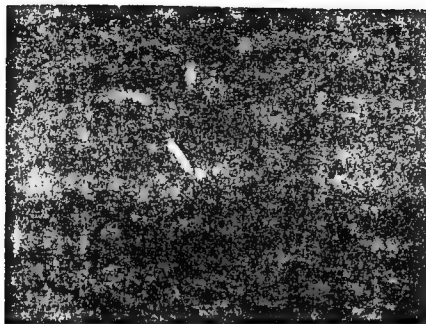
موهجة في الفضاء الكوني في عام ١٩٠٨م وعرفت باسم مذنبات مورهاوس Morehouse's Comet. وقد أوضحت المشاهدات الفلكية أن المسافة الفاصلة بين هذا المذنب والشمس تختلف من فترة إلى أخرى تبعاً لموقف المذنب في مداره البيضاوي الشكل . ففي بعض الأحيان يظهر المذنب على بعد نحو ١٤ مليون ميلاً فقط عن الشمس ( كما حدث عام ١٩١٠م ) في حين يبلغ بعد أقصى موقع للمذنب مورهاوس عن الشمس نحو ٣٠٠٠ مليون ميل .

وقد لاحظ علماء الفلك بأن بعض المذنبات مثل مجموعة مذنبات هالي Halley's Comet تستغرق دورتها الواحدة حول الشمس نحو ٧٦ سنة في حين تستغرق مجموعة مذنبات « إنك » Encke's Comet خلال دورتها الواحدة نحو ٣,٢٠ سنة .

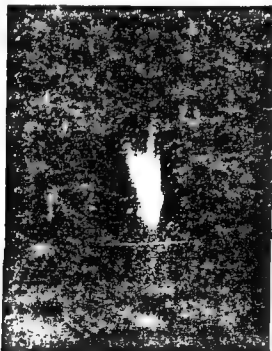
وتتألف رأس المذنب عادة من أجسام كونية مختلفة الحجم ، ومن ثم تشبه صخور المجمعات ( حصى وزلط ورمال ) من حيث الشكل العام ، إلا أن هذه الأجسام الكونية تتألف من غازات أهمها أول أكسيد الكربون والكيانوجين Cyanogen . وعندما تقترب المذنبات من جسم الشمس وتعرض لأشعتها الحرارية العالية سرعان ما يلتهب جسم المذنب ، وينبثق منه ذبول ملتبهة تنير الفضاء الكوني . ( شكل ٢٤ ، وشكل ٢٥ ) .

وقد ذكر بعض الفلكيين أن مجموعات المذنبات قد تنتمي إلى فضاء خارجي غير ذلك الذي تتمثل فيه المجموعة الشمسية المعروفة ، ذلك لأن طبيعة دوران المذنبات تختلف تماماً عن طبيعة دوران أفراد المجموعة الشمسية . ومن ثم أكد بعضهم أن قوة الجاذبية الشمسية تعمل على جذب أجسام المذنبات الآتية بدورها من فضاءات كونية خارجية أخرى بعيدة نحو الشمس . وعندما تقترب المذنبات من جسم الشمس الملتهب وتتاثر بأشعتها الحرارية العالية يعاد تشكيل موادها ويرتفع درجة حرارتها وتشتد إناراتها وتوهجها .

ومنذ يوم ٢٨ ديسمبر ١٩٧٣ بدأ يقترب المذنب « كوهوتيك » من جسم الشمس . وفي يوم ١٠ يناير ١٩٧٤م أصبح هذا المذنب الذي كان



شکل (۲۴) ملنپ بنت Bennett کما صور فی عام ۱۹۷۰



شکل (۲۵) ملنپ ویست فی عام ۱۹۷۶

معروفا بالمع مذنب فى عصرنا الحديث ، على بعد ٢١ مليون كم فقط من الشمس وهكذا دخل المذنب الحقول الكهرومغناطيسية الشمسية . وبدلا من أن يخرج للمذنب عن جاذبية الشمس ويستدير ليبرد عنها ، تأثر جسم المذنب بجاذبية الشمس الرهيبة وتشقت أجزاءه وخرج عن نطاق الجاذبية الشمسية بعد أن فقد المذنب كوهوتيك من مادته ما بلغ مقداره نحو ٢٠ مرة مما كان متوقعا له ، وتشقت ذيله للمضوء ، ونهبت إلى العدم كمية من لمعانه تصل إلى ٢٠٠ مرة مما كان مقدرا له . وهكذا انتهت قصة المع وابهر مذنب فى الفضاء فى عصرنا الحديث بإنهياره وأصبح من الآن يمثل مذنبا عاديا من بين ملايين المذنبات التى تدور حول الشمس .

ومن بين أشهر المذنبات التى تدور حول الشمس فى الوقت الحاضر مذنبات وست West - وارند - رولاند - Seki - Ikeya - وهوماسون Arend-Roland وفى الفضاء السماوى للمجموعة الشمسية تندفع بعض المذنبات بسرعة هائلة تزيد على ٦٠ كم/ث فى مسارات غير منتظمة . وقد تنجذب بعض هذه المذنبات صوب نجم الشمس وتفوح وتفشى فيها تماما أو ترتطم بالكواكب الكبيرة الحجم فى المجموعة الشمسية وخاصة كوكب المشترى تبعا لارتفاع نسبة كتلته وقوة جاذبيته . ومنذ نحو عشرين عاماً رصد علماء الفلك سراحل دخول واحد من هذه المذنبات نطاق جاذبية كوكب المشترى وكان يبلغ طول ذيله الثماني أو الدودى الشكل أكثر من ٣٠ مليون كم . وفى يوم ٨ يوليو ١٩٩٢ شاهد العلماء أجزاء من ذيل هذا المذنب وهى تندفع نحو سطح المشترى و على بعد لا يزيد عن ٢١ ألف كم منه .

ومنذ بداية عام ١٩٩٤ قام كل من يوجين شوميكر وزوجته كارولين وعالم فلكى زميل لهم هو دافيد ليفى بدراسة الحركات التفصيلية لمسارات واندفاعات هذا المذنب الذى أطلقوا عليه اسم « مذنب شوميكر - ليفى ٩ » أو « نودة السماء » Sky Warm وقد توقع هؤلاء العلماء اصطدام هذا

المذنب يسطح كوكب المشتري المظاهر لكوكب الأرض في يوم ١٧ يوليو ١٩٩٤ . ولم تستطع مرصد هابل الفلكية وشفيقتا الفضاء جاليليو ( المتجهة صوب المشتري منذ عام ١٩٨٩ ) وفويجر Voyager من أن ترصد ساعة الارتطام نفسها ، غير أنها سجلت صدئ الارتطام الرهيب بين أجزاء هذا المذنب ( الذى كان يتركب من ٢١ جسماً فضائياً ) وكوكب المشتري .

وقد أكدت المشاهدات الفلكية بأنه نتج عن هذا الارتطام وتساقط الشظايا النارية فوق سطح كوكب المشتري حدوث انفجارات بلغت قوتها التدميرية ما يعادل ٤٠ مليار طن من المواد المتفجرة ، وهذا قوة تفوق مقدار انفجار جميع الأسلحة النووية الموجودة حالياً فى كل ترسانات العالم . وقد تسبب الاصطدام فى تكوين فقاعات هائلة من الغازات الساخنة ( وبخاصة غاز الميثان ) تزيد درجة لمعانها ٥٠ مثلاً لدرجة لمعان ونورانية المشتري نفسه . كما تلوثت السحب الغازية التى تحيط بالنصف الجنوبي من كوكب المشتري ببلع غازية ساخنة سوداء هائلة الحجم ، وأعلن العالم يوجين شوميكر - مكتشف هذا المذنب - أنه لو قدر لمثل هذا الانفجار أن يرتطم بالأرض لأصابها بهالة من الغبار الفضائى بحيث يحجب عنها الشمس تماماً ، وأوضح كذلك بأن قوة اصطدام مذنب شوميكر - ليفى بسطح كوكب المشتري تقل عن قوى انفجار المذنب الذى يعتقد العلماء أنه سبق أن ضرب سطح الكرة الأرضية فى الزمن الجيولوجى الثانى ، ونتج عنه إنقراض كل الديناصورات التى كانت تعيش على سطح الأرض إبان هذا الزمن الجيولوجى .

#### تعدد الكون : Expansion of the Universe

يتبين مما سبق أن المجرات والنجوم فى الفضاء لا يصدر عنها صوت ، بل ينبعث منها ضوء يشع فى الفضاء الساموى بسرعة ٣٠٠,٠٠٠ كم/ث . وباستخدام المطياف الضوئى (سبكترسكوب) تبين للعلماء أن امتداد ضوء النجوم يظهر مائلاً إلى الطرف الأحمر فى الطيف الضوئى .

واستنتج العلماء أن هذه النجوم أخذت في الابتعاد عن الأرض ، وأن بعضها يبتعد عن البعض الآخر كذلك ، أي أن الكون كله أخذ في التمدد والانتساع وكأنه بالوة تنتفخ انتفاخاً<sup>(١)</sup> .

وعلى أساس مفاهيم النظرية النسبية ، فإن قوة « التناثر الكوني » تؤدي إلى التشتت الذي ينتج عنه تباعد كل جرم عن أي جرم آخر . ويؤكد علماء الفلك بأن المجرات ( غير مجرة درب النباة ) تسبح في الفضاء متباعدة عن مجرتنا ، وأنه كلما زاد بعدها عنا ازدادت سرعتها . ويلاحظ أن هذا التمدد لا يتجه بعيداً عن مركز الكون بذاته ، ولكن يسبب تشتتاً عاماً يصل إلى ضعف مقدار بعدها الحالي في مدى ١٣٠٠ مليون سنة<sup>(٢)</sup> .

ومن دراسة انحراف الأشعة الحمراء في المطياف الضوئي المنبعث من المجرات البعيدة جداً في الفضاء تبين للعلماء أن المجرات تبتعد عن بعضها البعض بسرعة تتناسب مع أبعادها وطول المسافات الفاصلة بين كل منها ، فسرعة ابتعاد المجرات تزداد مع زيادة المسافة الفاصلة بينها وبين المجرات الأخرى ، وأن كل زيادة في المسافة تصل إلى مليون بارسك تقابلها زيادة في سرعة الابتعاد تبلغ نحو ١٠٠ ميل/ث .

وأكد علماء الفلك أن الكون يتمدد ويشتمل هذا التمدد النطاق الواسع لا المحلي ، فأبعاد مجموعتنا الشمسية لا تتمدد ، وكذلك المسافات داخل مجرتنا والمسافات داخل مجموعتنا المحلية . ولكن تبين أن التمدد يبدأ بعد حدود مجموعتنا المحلية أي بعد نحو نصف مليون بارسك . فالمجرة العملاقة ( م ٨١ ) التي تقع على بعد ٢,٥٠٠,٠٠٠ بارسك تبتعد عنا بسرعة

---

(١) - محمود القاسم : « الإسلام والحقائق العلمية » ، دار الهجرة - بيروت - الطبعة الثانية ( ١٩٨٦م ) ، ص ١٢٢ - ١٢٧ .

ب - « الكون » ، الموسوعة العلمية الحديثة - تأليف كولين رونان - بيروت ( ١٩٨٠م ) ، ص ٨٠ .

(٢) د. يحيى هاشم فرغل : « الإسلام والاتجاهات العلمية المعاصرة » ، دار المعارف - ١٥٤ -

تبلغ ٨٠ ميلا/ث ومجرات سحابة السنبلية التى تقع على بعد ١٠ مليون  
بارسك تبعد عنا بسرعة ٧٥٠ ميلا/ث . ويبتعد عنا التجمع المجرى  
بالإكليل الشمالى بسرعة تزيد على ١٢ ألف ميل/ث . فى حين أن تجمع  
الشجاع الذى يبتعد عنا بنحو ٤٠٠ مليون پارسك يبتعد عنا بسرعة ٣٨  
ألف ميل/ث .

ويعتقد أرنر أندجتون بأن تمدد الكون يصحبه خلق مادة جديدة فيه ،  
فكلما ترك التمدد لفضاء كبيراً تتكون مواد أخرى جديدة وتتجمع على  
شكل نجوم ومجرات جديدة . ويؤكد هذا الباحث بأن المجرات البعيدة التى  
نراها فى الفضاء سوف لا تختفى نتيجة للتمدد والاتساع ذلك لأن هناك  
مجرات جديدة تخلق باستمرار . فالمجرات كما يرى أندجتون تولد بصفة  
مستمرة وتتحرك متباعدة أحداها عن الأخرى فى الفضاء اللانهائى .

ويؤكد العلماء أن خلق المادة يدفع الكون إلى التمدد ، إذ إن خلق المادة  
يؤدى إلى مط الفضاء مطاً ، بحيث يبعد بين التجمعات المجرية بعضها عن  
البعض الآخر . وخلق المادة المستمر لا يدفع الكون إلى التمدد وحسب ، بل  
إنه يحدد أيضاً معدل هذا التمدد ، وبحيث لا يؤدى إلى ازدياد الفضاء  
السمائى بالمادة ، كما أنه لا يؤدى إلى جعله أقل امتلاء بالمادة ، ذلك أن  
معدل التمدد يثبت عند القيمة التى تجعل انخفاض الكثافة الناتج من  
التمدد يعادل تماماً الزيادة الناتجة من خلق المادة المستمر ، وهكذا تظل  
متوسط كثافة الكون ثابتة .

## الفصل الثانى نشوء الكون وكوكب الأرض

منذ ميلاد الإنسان على سطح الأرض أخذ يتأمل ويفكر ويستبصر فى كل ما يحيط به من سماء وأرض ، وما يحدث له من كوارث طبيعية ، وما يقع عليه بصره من ظواهر غريبة . وانشغل الفكر الإنسانى منذ ذلك الحين وحتى اليوم بكيفية نشوء الكون ومعرفة أسرارهِ وخباياه التى يقف علمه المحدود أمامها عاجزاً مقهوراً وحائراً مبهوراً . وكلما ازداد الإنسان معرفة وعلماً ، سرعان ما تنكشف له بعض الظواهر والشواهد التى لم يكن يعرفها من قبل ، والتى لا يجد لها تفسيراً يقينياً يهدد الفهم والفهموس حول قضية نشوئها وعملها .

وحتى آلاف السنين بعد ظهور الإنسان على سطح الأرض ظل يعتقد أن للكون يتألف فقط من الأرض الفسيحة الأرجاء التى يعيش عليها ، ومن الشمس والقمر والنجوم التى تسطح وتتلاها فى السماء . ومع تقدم علم الفلك واختراع آلات الرصد المطورة ، واكتشاف المراصد الحديثة ذات المرايا العاكسة للضوء وتلك اللاسلكية ( الرادية ) ، أدرك الإنسان أن كوكب الأرض ما هو إلا كوكب صغير جداً بالنسبة للمجموعة الشمسية ، وأن هذه المجموعة الأخيرة هى إحدى بلايين المجموعات الشمسية الأخرى فى الكون . وأصبحت المشكلة التى يواجهها علماء الفلك اليوم تتمثل فى وفرة المعلومات التى تحتاج منهم إلى دراسة وتحليل وتفسير وتعليل وليست ندرة المعلومات كما كان عليه الحال من قبل .

ولسهم تقدم علوم أخرى مثل الرياضيات والفيزياء والكيمياء إلى جانب اختراع الأدوات التقنية الحديثة المستخدمة فى الدراسات الفلكية فى معرفة بعض خبايا الكون ونظامه وعناصره التى يتألف منها ، ومع ذلك ظلت القضايا الجوهرية التى تتعلق بكيفية نشوء الكون وأصل مادته الأولية التى تكون منها موضع جدل وخلاف بين العلماء . ولم يستطع العلم أن يقدم فى هذا الشأن حتى الآن سوى اقتراحات وافتراسات

ونظريات ظنية قابلة للتغيير والتعديل من أن إلى آخر .

واستطاع العلم البشرى الوصول إلى بعض القوانين التى تخص بحساب المسافة والزمن والسرعة والكثافة والصوت والضوء والجاذبية وانشطار الذرة حسب ما شاهده العلماء فى الأفق أو الاتفاق المتاحة لهم ، وحسب نتائج التجارب العملية التى قاموا بها ، ولكن تبين للعلماء أن حركة الكواكب وسرعة النجوم فى مداراتها ، والمسافات الفاصلة بين نجم وآخر فى الفضاء لا تقاس بوحدة القياس التى عرفها الإنسان والف استخدامها على سطح الأرض ، بل هى آلاف أضعاف تقدير مثل تلك التى على سطح الأرض . وهناك قوانين يحجز الفكر البشرى حتى أن يتخيل معالها وأبعادها ، وتبارك قول الله عز وجل : ﴿ وما أوتيتم من العلم إلا قليلا ﴾ . فسبحان الذى خلق كل شيء بقدر وبالحق ، وما أمره إلا واحدة كلمح بالبصر ، وإذا أراد شيئا أن يقول له كن فيكون ، وله مقاليد السموات والأرض وهو على كل شيء قدير .

### تطور الفكر البشرى حول نشأة الكون :

إبان أيام الحضارات البشرية القديمة ، كان الإنسان يخشى الظواهر الطبيعية فى الكون ، وكان يقدس الشمس والقمر والنجوم والرياح والبحار والمواصف . وتأسست مفاهيم الإنسان فى هذه الفترة على الشرك وتعدد الآله وتلجيه الطبيعية وتمورها بالتصور الميثولوجى الأسطورى . وخصص الإنسان إليها لكل عنصر من عناصر الكون ، فكان هناك إله الشمس ، وآلهة أخرى لكل من القمر والمطر والرياح والبحار . وتوصف الشمس فى الأساطير البابلية على أنها إله قدير ، وهو الذى سوى رأس جلجامش وزينه ، و«تيامه» هى ربة الأغوار والبحار وتمبر عن الفوضى والاضطراب ، و« مردوخ » هو إله المريخ رمز الهدوء والنظام ، وقصة « يما » فى الأساطير الفارسية تدل على مفهوم الإنسان للصراع المستمر بين الحق والباطل والخير والشر فى الكون .

واعتبرت الحضارات القديمة ومن بينها الفرعونية والبابلية والإغريقية

والرومانية أن عناصر الكون أزلية سرمدية لا تتعرض للفناء ، وإن الصراع مستمر و دائم بين كل منها وخاصة بين العناصر السماوية وتلك التي على سطح الأرض . فالصراع مستمر بين إله الشمس وإله الليل أو بين إله النور وإله الظلام .

ومنذ ظهور الإنسان على سطح الأرض أخذ يفكر فيما حوله من ظواهر ويتأمل في عناصر الكون ، وبذل الإنسان محاولات بدائية في تفهم نظام عناصر الكون وكيفية نشأته . وفي العهد الإغريقي منذ القرن الخامس قبل الميلاد ، برز في بلاد اليونان منهج الفلسفة الطبيعية ، وعنى أصحاب هذه المدرسة بدراسة أصل هذا الكون ، والمادة الأولية التي نشأ عنها ، فلا يخلق في رأيهم من العدم وجود . وعرفت هذه المدرسة الفكرية باسم المدرسة الأيونية وكان من بين أصحابها طاليس الذي اعتبر العنصر الرطب أو الماء هو المادة الأولى التي نشأ عنها الكون . في حين رأى انكسيمانس<sup>(١)</sup> إنها الهواء ، واعتقد هيراقليطس أنها النار أو النار للمعنوية التي تشتعل في العقول والنفوس والقلوب ، وهي مصدر كل الطاقات . أما انببادوقليس فقد عدل عن مبدأ أو عنصر واحد لأصل الكون ، وتنادى بالعناصر الأربعة مجتمعة كلها وهي النار والهواء والتراب والماء ، وأرجع التغيرات التي مشاهدتها في الكون إلى قوتين أو مبدئين هما :

أ - مبدأ الائتلاف أو الحب .

ب - مبدأ الانفصال أو الكراهية .

وعن ظهور الكائنات الحية في الكون فقد أرجعه امبادوقليس إلى أثر البيئة والانتخاب الطبيعي Natural Selection والبقاء للأصلح ، والمقاومة في سبيل البقاء . وكل هذا يتم عن طريق التطور الأكلي الذي يعتمد على عمليتي الائتلاف والانفصال . وهي مفاهيم أثبتها داروين فيما بعد وأخذ

(١) د. يحيى هويدى : « تطور الحياة الفكرية العامة ... » ، الباب الأول من كتاب « تطور الفكر الفلسفى » - مطبوعات جامعة الإمارات العربية المتحدة (١٩٩١م) .

عنها عند اقتراحه لنظرية النشوء والارتقاء والتطور .

وقد حاول الفلاسفة تفسير ظاهرة التغير والتعدد في الكون ، واقتراح انكسهما كنسوس مبدأ « اللامتناهي » أو التغير اللامتناهي ، وأطلق عليه اسم « الأبيرون » ، وشبهه بالدوامة الخالدة التي تجعل الكون كله في تطور وتغير دائمين إلى ما لا نهاية . واعتقد هذا الفيلسوف بأنه عند فناء جزء من هذا العالم سرعان ما يتولد جزء آخر محله وهكذا يتولد على هذا النحو عدد لا نهاية له من الأكوان . بل راح أبعد من ذلك وطبق هذه الفكرة على الكائنات الحية ، حيث بدأت على سطح الأرض بالكائنات البسيطة التركيب وانتهت بالكائنات المعقدة التركيب ، وأثناء تطورها التدريجي اندثرت كائنات أخرى جديدة حلت محلها ، وأدى هذا إلى التنوع في الكائنات الحية على سطح الأرض ، وهي مفاهيم استفاد منها داروين كذلك في نظريته المعروفة عن التطور فيما بعد .

وهناك رأى آخر تزعمه أصحاب المدرسة الفكرية الإلهية وعلى رأسهم بارمنيدس وزينون وميلسوس ، وكانت هذه المدرسة بظاهرة الثبات أو الاستقرار في الكون . أما المدرسة الفيثاغورية فقد اعتنقت فكرة أن مظاهر التناسب والنظام التي نلاحظها في عالم الرياضيات الزاخر بالأعداد والأشكال الهندسية إنما يشبه تماماً ما يتمثل في الكون من تناسب ونظام بين عناصره المختلفة ، وهكذا برزت لهم فكرة أن الكون هو عدد ونغم . وأضاف انكسافوراس مبدأ وجود قوة عاقلة في الكون أسماها « العقل » تخترق جميع الموجودات وهي التي تؤلف أو تفرق بين عناصر الكون المتعددة . وهكذا يتبين أن المدرسة الفكرية المادية القديمة قد فشلت في معرفة أصل الكون وكيفية نشوئه وعجنه من تحديد مادته الأولية التي خلق منها .

وفي هذه الفترة نفسها من الزمن - من القرن الخامس إلى القرن الرابع قبل الميلاد - ظهرت مدارس فكرية أخرى في بلاد اليونان ، وكان منها مدرسة التصورات العقلية وكان من أظهور أصحابها سقراط وأفلاطون

وأرسطو . وقد حكم سقراط العقل فى أفعال الإنسان وسلوكياته ، وناذى بأن « الفضيلة علم » وبشعار « اعرف نفسك بنفسك » ، وفى بحثه عن التصور الكلى أو الماهية كان يتحاور مع تلاميذه فيما عرف بطريقة الاستقراء السقراطى وباستخدام العقل . ومن ثم فإن سقراط يعد أول من وضع أسس العقلانية فى تاريخ الفلسفة . أما أفلاطون ( أحد تلاميذ سقراط ) فقد ربط مهمة الإنسان بالمعرفة ، وتعريف الإنسان فى نظره هو « الإنسان العارف » ، فحبه للاستطلاع والمعرفة يدفعه إلى التأمل والتبصر فيما حوله . وأراد أفلاطون أن تكون للماهيات العقلية موضوعية منفردة متميزة تباعد بينها وبين تأثيرها بالذات ، فأفرد لها عالماً خاصاً هو « عالم المثل » ، ولكى يحصل إلى هذا العالم لابد أن يتبع الفكر أسلوب « الجدل » . وهكذا نادى أفلاطون بعالمين هما عالم الحقيقة وهو عالم المثل ، وعالم الأشباح أو الخلال وهو عالم المحسوسات ، وأضاف إليهما عالم آخر وهو عالم المادة الأزلية ، التى هى عبارة عن وعاء لكل الاستحالات الحسية التى نشاهدها فى هذا الكون المتغير . وأشار أفلاطون كذلك إلى ما أسماه بالمصادفة أو الصدفة فى تحرك الأشياء وعلاقة بعضها ببعض الآخر . ثم ابتكر أفلاطون كذلك فكرة « المدينة الفاضلة » أو مدينة زئوس أو جمهورية أفلاطون التى تتبع فيها هذه المثل التى يعلو وجود كل مثال منها على وجود كل الأشياء المحسوسة .

أما أرسطو فقد استبدل بنظرية الصور الذهنية البشرية نظريته فى المعرفة التى تستند على تلازم الصور بالمادة أو الهيولة . فأية ظاهرة فى الكون مكونة من صورة ومادة . ولكى يفسر قوانين الحركة فى كل أجزاء الكون استخدام ما أسماه بقانون « القوة والفعل » فكل كائن حى ، حياته بالفعل ولكنه ميت أو فان بالقوة .

وخلال فترة العصور الوسطى فى أوروبا حتى بداية القرن السادس عشر ظل التفكير الدينى يهيمن على التفسيرات التجريبية العلمية المختلفة . وكان يعتقد أن الأرض هى فقط المناسبة لسكنى الإنسان ، ومن ثم فإن كوكب الأرض يتوسط كواكب المجموعة الشمسية ( تلك الكواكب

التي كانت معروفة خلال هذه الفترة هي عطارد والمريخ والمشتري وزحل والقمر ، وإن الكواكب التي تقع على يمين الأرض والأخرى التي تقع على يسارها لا تصلح لحياة الإنسان إما لشدة حرارتها وسخونة أجسامها أو تبعاً لشدة تجمعها وبرودتها . وعرفت تلك النظرية التي تتوسط الأرض فيها كواكب المجموعة الشمسية باسم Geocentric Theory of The Universe . ويعتقد بأن الجغرافي الإسكندري كلاوديوس بطليموس ، هو واضع أساس تلك النظرية ، ومن ثم يطلق عليها البعض اسم نظرية بطليموس عن الكون <sup>(١)</sup> Ptolemaic Theory Of The Universe

ولكن بعد التقدم التدريجي في علوم الفلك ، وتطورها المستمر نتيجة لزيادة المعرفة عن أسرار هذا الكون وخباياه انتشرت أفكار العالم الفلكي الكبير نيكولاس كوبرنيكوس N. Copernicus ( ١٤٧٣ - ١٥٤١ م ) . وقد أكد هذا العالم أن الشمس هي النجم العظيم الحجم وأكبر أفراد المجموعة الشمسية ، ومن ثم يسهل رؤيتها بالعين المجردة على الرغم من عظم طول المسافة بينها وبين كوكب الأرض . كما أكدت كذلك أن جميع أفراد المجموعة الشمسية تدور حول الشمس الأم في مدارات خاصة دائرية الشكل وعرفت نظرية كوبرنيكوس باسم Heliocentric Theory of the Universe . وأعلن كوبرنيكوس بأن كوكب الأرض لا يتوسط المجموعة الشمسية . بل يقع فيما بين كوكب الزهرة وكوكب المريخ . وحقق كل هذه الآراء الفلكية في كتابه المعروف باسم « دورة الفلك » Volutionnibus Orbium Coelestium . وعمل على تحقيق أفكار كوبرنيكوس ونشرها عدد من تلاميذه ومن بينهم بيتر بومبانوزي Pietro Pompanozzi ، وبرناردينو تيلشيو Bernardino Telesio وجوردانو برونو Giordano Bruno ، إلا أن جميعهم تعرضوا للإهانات النزية ، وللسجن ، بل وللقتل والحرق تبعاً لمعارضتهم أفكار الكنيسة ورجال الدين إبان تلك الفترة من العصور الوسطى .

(١) د . حسن أبو العيين : « كوكب الأرض » ، الطبعة العاشرة - الإسكندرية ( ١٩٨٨ م ) ، ص ٥٨ - ٧٧ .

وقد عمل كبلر (١٥٧١ - ١٦٣٠م) على تعديل نظرية كوبرنيكوس ،  
واكد بأن مدار معظم الكواكب يبدو إهليلجيا أو بيضاوي الشكل وليس  
مدارا دائريا تماما كما رجح كوبرنيكوس من قبل . كما تحقق كبلر من أن  
حركة الشمس الظاهرية اليومية ليست سوى نتيجة لحركة الأرض اليومية  
حول محورها .

ولكن بعد أن اكتشف جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢م) جهاز المنظار الفلكي  
عام ١٦٠٩م ، اتسعت للمعرفة عن الكون والكواكب الفضائية ، وأمكن  
لجاليليو أن يحقق أفكار كوبرنيكوس النظرية بصورة فعلية عملية غير  
قابلة للشك . ومن أهم النتائج التي حققها جاليليو باستخدام منظاره  
الفلكي ما يلي :

أ- أن القمر كوكب صغير يتبع كوكب الأرض ، ويكاد التركيب المعدني  
العام الذي يتألف منه جسم القمر يشبه إلى حد كبير التركيب المعدني  
لصخور كوكب الأرض

ب- أن كوكب الزهرة جزء من الفضاء السعائى يشع نوره الجبار فى  
الفضاء ، ولكنه فى الواقع كوكب معتم يعكس سطحه الأشعة الضوئية  
التي تسقط عليه وظهور الكواكب المعتمة أكدت من ناحية أخرى بأن كواكب  
المجموعة الشمسية ليست ثابتة ، بل تتحرك وتدور فى مدارات مختلفة  
حول الشمس .

ج- ظهرت لأول مرة البقع الشمسية داخل إطار نجم الشمس  
العظيم ، وتؤكد الفلكيون كذلك أن للشمس هى الأخرى دورة خاصة بها  
حول محورها .

اكتشف جاليليو خلال تلك الفترة الأتمار التابعة لكوكب المشترى ،  
وشاهد أربعة أتمار رئيسة تحيط بالمشتري كما يحيط القمر بالأرض .

وعلى ذلك تبين لعلماء الفلك خلال تلك الفترة أن لمعظم كواكب  
المجموعة الشمسية أتمارا تابعة لها ، وتسبح حولها ، وقد استعان بعض

الفلكيين بتلك الملاحظات المهمة عند تفسير العلاقة بين نجم الشمس العظيم ونشأة بقية أفراد المجموعة الشمسية .

ثم خطت العلوم الفلكية خطوة سريعة إلى الأمام بعد ظهور نظرية نيوتن (١٦٤٣ - ١٧٢٧) وقانونه المشهور عن الجاذبية بين الأجسام المختلفة تبعاً لكثافتها وطول المسافة الفاصلة بين كل جسم وآخر . وأوضح نيوتن أن عملية الجذب هي التي تنظم سير الكواكب والأقمار والنجوم في الفضاء الخارجى . وقد توصل إلى قانونه المشهور وهو أن قوة الجذب بين أى جسمين تتوقف على حاصل ضرب كتلة الجسمين مقسوماً على مربع المسافة بينهما . فلو فرض أن هناك جسماً كتلته ١ وأخر كتلته ٢ والمسافة بين مركزيهما ف ، فإن قوة الجذب بين هذين الجسمين تتناسب

مع  $\frac{1 \times 2}{f^2}$

ومن ثم نجح نيوتن في أن يحقق بأن كلا من أفراد المجموعة الشمسية يقع في مدار خاص لا يغيره ، تبعاً لتناسب العلاقة بين قوة جذب الشمس لكل أجسام هذه الكواكب المختلفة من ناحية واختلاف طول المسافة الفاصلة بين كل منها وجسم الشمس من ناحية أخرى ، وهكذا دخل حقل الأبحاث الفلكية منذ بداية القرن الثامن عشر كثير من علماء الطبيعة والرياضيات والكيمياء ، وأضافوا إلى المعرفة الفلكية الكثير من المعلومات التي لم تكن معروفة من قبل .

ومنذ بداية القرن الثامن عشر بدأ يتبلور علم الفلك وعلم الجيولوجيا وتحلت دراستهما من المؤثرات الدينية ، وتعاليم الكنيسة ، واعتمدت أبحاث هذين العلمين على المناهج العلمية التجريبية المختلفة . ثم تضافرت بعد ذلك أفرع مختلفة من العلوم الأخرى كان من أهمها الرياضيات والطبيعة ، والاقنياتوغرافيا والجيومورفولوجيا والكيمياء لتفسير نشأة كوكب الأرض وتطور نمو الظواهر التضاريسية التي تتمثل فوق سطحه .

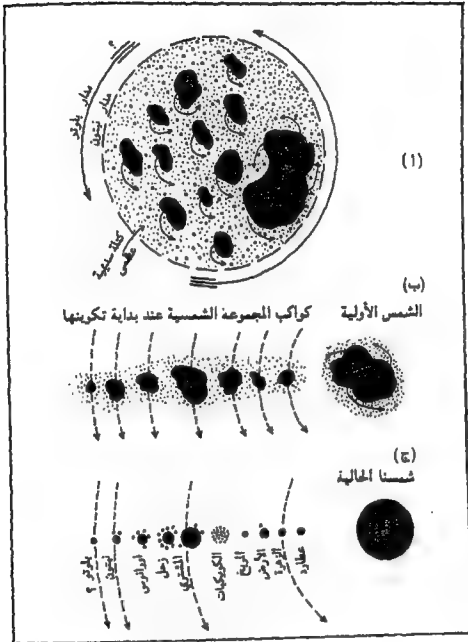
وفي عام ١٧٥٥م ظهرت نظرية إيمانويل كانت (Immanuel Kant<sup>(١)</sup>) وقد كان هذا العالم إبان هذه الفترة استناداً للفلسفة وعلم الفلك في جامعة

كونجيزبرج Konigsberg ، وأوضح « كانت » أن المجموعة الشمسية كانت تتركب كلها من مجموعة هائلة من أجسام صلبة معتمة صغيرة الحجم جداً ، تسبح بسرعة هائلة ، وتبعاً لاصطدام هذه الأجسام واحتكاك أجسامها بعضها ببعض الآخر ، تولدت حرارة شديدة عملت على صهر هذه الأجسام ، ثم تكوين السديم الذى أخذ يبرد بدوره ويتجزأ إلى كتل صغيرة كونت كل منها بعض أفراد المجموعة الشمسية .

وقد أكد هذه النظرية العالم الفرنسى لابلاس Pierre S. Laplace فى عام ١٧٩٦ م . وأوضح أن المجموعة الشمسية كانت تتركب أصلاً من السديم ( جسم غازى متوهج هائل الحجم ) . وعندما يعرض السديم لفعل البرودة تقلصت أجزاء كبيرة منه ، وانكمشت تدريجياً وساعتت عملية دوران كتل السديم حول نفسها إلى انهجاج المناطق الاستوائية منها ، ثم انفصال هذه الأجزاء المنهجرة ( عندما تزداد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب ) مكونة كواكب المجموعة الشمسية . وعلى ذلك اعتقد لابلاس أن أفراد المجموعة الشمسية بما فيها الشمس هى من أصل واحد يتمثل فى مادة السديم الغازية الساخنة ويعزى سبب اختلاف المواد التى يتألف منها كل من كواكب المجموعة الشمسية فى الوقت الحاضر إلى عملية برودة جسم كل كوكب خلال المراحل الطويلة لنشأته وتكوينه . فشمسنا الحالية تعد جزءاً من بقايا هذا السديم ، ولا زالت ملتهبة بفعل الاضطرابات التى تحدث فى باطنها ، فى حين أن كوكب الأرض تعرض 'عمليات برودة سريعة ، ونجم عن ذلك أن تقلص جسمه ، ويرد سطحه ، وإن كان باطنه لا يزال منصهر (شكل ٢٦) .

---

(1) Immanuel Kant, "A. General Theory of the Heaven, or Essay on the mechanical structure of the Universe", (1955).



شكل (٢٦) تفسير نظرية لابلاس

١- كتلة سديمية غازية هائلة الحجم احتلت مدار نبتون وأخذت تبرّد بالتدريج وتكونت منها كتل شبيهة باردة تدور حول نفسها .

ب- تأثرت الكتل الصغيرة الحجم بجاذبية الكتل الأكبر حجماً وأخذت تدور حولها .

ج- في مرحلة متأخرة تكونت الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية .

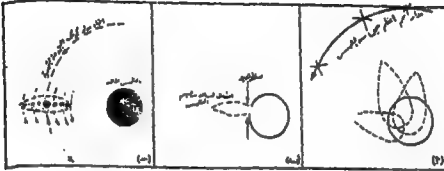
ومنذ بداية القرن العشرين ظهرت نظريات فرضية أخرى حاولت تفسير نشأة كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية المجموعة الشمسية ، ومن بين هذه النظريات ما يلي :

١ - نظرية توماس تشمبرلين ، وفورست مولتن :

T.C. Chamberlin and F.F. Moulton

تقدم هذان العالمان بتلك النظرية في عام ١٩٠٥ م ، وعرفت باسم نظرية الكويكبات Planetesimal Theory . وترجع النظرية أن المجموعة الشمسية انفصلت عن الشمس نفسها (أى لم تتكون من جسم السديم كما رجح لابلاس من قبل ) لمرور نجم عملاق الحجم بالقرب من مدار الشمس الأولية Primitive Sun . ونتج عن ذلك انبعاج جسم الشمس الأولية ، وعندما تعرضت هذه الأجزاء المنبعجة للبرودة التدريجية وللمعل الضغط الشديد انفصلت عن الشمس الأولية وكونت الكواكب السيارة التي بردت أجسامها كثيرا عن جسم الشمس الذى لا يزال ملتهبا (شكل ٢٧)

وعلى ذلك يتضح أن نظرية الكويكبات لتشمبرلين ومولتن تشابه النظرية السديمية . فـ رجحها لابلاس من قبل ، ذلك لأن كلا منهما اعتبر أن أجسام جميع كوكب المجموعة الشمسية بما فيها الشمس تعد من أصل واحد ولكن تنص نظريات الكويكبات على أن جميع كواكب المجموعة الشمسية تألفت ونشأت من جسم الشمس الأولية Primitive Sun نفسها ، فى حين تنص النظرية السديمية على أن الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية تكونت من جسم السديم الغازى الذى كان يشغل حيزا كبيرا فى الفضاء الكونى .



شكل (٢٧) الشمس الأولية ونظرية العمود الغازي

أ - الشمس الأولية ، وقد تقترب من منارها نجم عملاق الحجم جذب نيموه لسانا من جسم الشمس .

ب - تعرض هذا اللسان للضغط الشديد وانفصل عن جسم الشمس .

ج - تكونت من هذا اللسان كواكب للمجموعة الشمسية في حين كونت الكتلة الباقية من الشمس الأولية شمسا للحالية .

وقد رحب كل من هارولد جيفريز وجيمس جينز في عام ١٩٢٩ م H. Jeffreys and J. Jeans بتلك النظرية السابقة ( نظرية الكويكبات ) ، وأوضحا أن لقوى المد والجذب بين أجسام المجموعة الشمسية المختلفة الكثافة والحجم أكبر الأثر في عملية تكوين كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها .

ولكن لكي يفسر كل من جيفريز وجينز الاختلاف الحالي في خصائص المواد التي تتزلف منها أجسام الكواكب الفضائية وجسم

الشمس الملتهب ، رجحا أن عملية الجذب بين النجم السيار الهائل الحجم وجسم الشمس الأولية اقتصرحت أساسا على الغلاف الغازى الذى كان يحيط بقرص الشمس الأولية ( تبعاً لبرودة سطح الشمس نسبياً عن باطنها ) ، وامتد هذا القرص الغازى على شكل لسان غازى هائل الإمتداد فى الاتجاه الذى مر فيه النجم السيار الكبير . وقد كان هذا العمود الغازى الذى انفصل عن الشمس أكثر سمكا وضخامة فى قسمه الأوسط عن طرفيه . وقد نجم عن ذلك أن الكتلة أو العقد التى انفصلت واستقلت عن العمود الغازى من قسمه الأوسط كانت أكبر حجما من غيرها ، وادت إلى تكوين الكواكب الكبيرة الحجم ( المشترى وزحل ) فى حين أن الكواكب التى تكونت عند طرفى هذا العمود الغازى أصبحت أصغر حجما من المجموعة الأولى ، ويتلفق هذا الترتيب فى أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية . ( شكل ٢٨ ) .



شكل (٢٨) نظرية النجم السيار الهائل الحجم

- أ - الشمس الأولية وحولها القرص الغازى الهائل الحجم .
- ب - اقتراب نجم عملاق الحجم من الشمس فجذب إليه الغازات التى كانت محيطة بالشمس .
- ج - انفصل القرص الغازى عن الشمس على شكل لسان طولى وأخذ يبرد بالتدريج ، وتنفصل كتل منه بعضها عن البعض الآخر وتتكون ومن ثم تكونت منه بقية كواكب المجموعة الشمسية .

وقد عارض العالم الفلكي الأمريكي ليتمان سبيتزر Lyman Spitzer نظرية النجم السيار الهائل الحجم . وأوضح سبيتزر أن أى مواد تتفصل عن جسم الشمس لابد وأن تتطاير فى الفضاء الكونى على شكل مفرقات شديدة تبعاً للضغط الشديد الذى تتعرض له أجسامها ، هذا فضلاً عن البعد الكبير فيما بين الشمس وبقيّة كواكب المجموعة الشمسية . ولو تصورنا أن حجم الشمس فى مثل حجم البرتقالة فإن الكوكب بلوتو يصبح فى حجم ذرة الحصباء ويبعد عنها بأكثر من ١٢٥ متراً . وتحت هذه الظروف وجد هذا الباحث أنه من الصعب أن تتكون أعمار منفصلة أساساً من جسم الشمس نفسها .

كما أكد الأستاذ سمارت W. M. Smart فى عام ١٩٥٩م أن أية نظرية تعالج تفسير نشأة كواكب المجموعة الشمسية ، لابد أن يضع صاحبها فى الاعتبار أن نشأة هذه الكواكب ، لا ترتبط بجسم الشمس نفسه و ذلك لأن أجسام هذه الكواكب تختلف معانيتها عن جسم الشمس . وأوضح سمارت أن نجم الشمس يبدو بعيداً جداً عن مجموعة هذه الكواكب الصغيرة المتقاربة فيما بينها . ويبعد أقرب كوكب منها للشمس هو ألفا سنتورى Alpha Centauri ، الذى يبعد عن الشمس بمسافة يبلغ طولها نحو ٢٥ مليون ميل . ويلى ذلك كوكب عطارد الذى يبعد عن الشمس بمسافة طولها ٣٦ مليون ميل <sup>(١)</sup> . فى حين يبتعد بلوتو عن الشمس بمسافة يبلغ طولها نحو ٣٦٧٠ مليون ميل .

a - Wooldridge, S. W. and Morgan R.S. " An outline of geomorphology" London (1960) P.1-7 .

b - Smart, W.M., "The origin of the Earth", a Pelican Book (1959). P.25

c - Read, H. H., and Watson, "Introduction to geology", London (1962)p.45-48.

d - Cowen R.C., "Frontiers of the sea". London, (1960)58-51.

١- حسن أبو المعينين : دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات - بيروت - ١٩٦٧م . الطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦) .

٢- حسن أبو المعينين : كوكب الأرض - الاسكندرية - الطبعة العاشرة - ١٩٨٨ .

## ٢ - نظرية الشمس الثنائية : The Binary Star Theory

رجح هذه النظرية العالم الفلكي راسيل H.N. Russell فى عام ١٩٢٥ م ، لكى يفسر تكوين أفراد العائلة الشمسية من نجم آخر غير نجم الشمس الأصلى القديم Primitive Sun ، وعلى ذلك أوضح راسيل أن شمسنا كانت عبارة من زوجين أو توأمين متقاربين فى مدارهما ، وتكونت المجموعة الشمسية من أحد هذين التوأمين ، بينما احتفظ التوأم الآخر ( شمسنا الحالية ) بصورته التى يبدو بها اليوم .

وحقق هذه النظرية الدكتور ليتلتون Lyttleton فى عام ١٩٣٦ م ، وأوضح أنه كان للشمس الحالية توأم آخر يبلغ نصف قطره طول المسافة التى تمتد بين زحل وأورانوس ، أى نحو ١٧٠٠ مليون ميل . وعلى أساس أن كتلة هذا النجم التوأم معادلة تماماً لكتلة الشمس ، على ذلك تستغرق فترة دوران هذا الكوكب حول نفسه دورة كاملة فى نحو ٥٠ سنة ، ويسير بسرعة تبلغ نحو ٦ ميل / الثانية فقط . وعندما تعرض هذا الكوكب الشمسى التوأمى لدور نجم آخر سيار ، يسير بسرعة ٢٠ ميل / الثانية ، نتج عن ذلك تكوين العمود الغازى ، الذى أخذ يبرد بالتدريج وتكونت منه المجموعة الشمسية

وحاول كل من روس جون Ross Gunn وبنارجي A. C. Banerji تفسير كيفية تكوين الكواكب الثنائية فى نظرية عرفت باسم نظرية انشطار الكواكب The Fission Theory وتتخلص هذه النظرية فى أن الكواكب الكبرى تدور حول نفسها ، وينجم عن ذلك تعرضها للبرودة التدريجية ، ويزداد تقلص أجسامها ، وعلى ذلك قد تفقد الكواكب تماسك أجزائها أجسامها ، ومن ثم ينشطر كل منها إلى كوكبين أو أكثر ، مكونة الكواكب الثنائية أو الكواكب المزدوجة .

أما الأستاذ هانز ألڤين Hannes Alven فقد رجح أن عملية انفصال الكواكب الشمسية بعضها عن بعض لا يعزى إلى أثر فعل القوى الميكانيكية Mechanical Forces (قوة الجذب وقوة الشد وقوة الطرد

المركزية) ، ولكنها قد تعزى إلى أثر فعل القوى الكهربائية المغناطيسية (١) Electromagnetic Forces التي تتولد داخل أجسام العائلة الشمسية .  
وتتحكم هذه القوى فى عملية انشطار بعض الكواكب ، ثم تحديد مواقعها ومراكزها فى الفضاء الكونى ، وتشكيل طبيعة مناراتها .

### ٣ - نظرية فايسكر أو نظرية السحب السديمية :

#### The Nebular - Cloud Theory

رجح فون فايسكر Von Weizsacker هذه النظرية فى عام ١٩٤٤ م .  
وهى تشبه تلك التى رجحها سيمون دى لا بلاس فى عام ١٧٩٦ م مع إضافة بعض الاقتراحات الجديدة عليها . وقد استعان فايسكر بقوانين الديناميكا الحرارية والفيزياء الإحصائية إلى مدى بعيد لتفسير نشأة كواكب المجموعة الشمسية . ويعتقد فايسكر أن المجموعة الشمسية بما فيها الشمس كذلك كانت تتألف يوماً من سحب هائلة من السدم التى تسبح فيها الغازات والغبار الكونى والمواد المعدنية الدقيقة الحجم جداً .

وتعد هذه السدم هائلة الحجم جداً ، حيث يذكر الأستاذ سمارت W. M. Smart فى عام ١٩٥٩ م بأنه لو تصادف دخول شمسنا الحالية إحدى مجموعات هذه السدم الهائلة الحجم فلا تخرج من الجانب الآخر لها ، إلا بعد مئى مئآت الآلاف من السنوات . وتعد هذه السدم من كوكب الأرض ببضعة آلاف من السنوات الضوئية (١)

### ٤ - نظرية ميلاد النجوم الجديدة : The Nova Theory

رجح هذه النظرية الأستاذ هويل (٢) F. Hoyle فى عام ١٩٤٦ م ، وأوضح هذا الباحث أن الفضاء الكونى يشتمل على مجموعات هائلة من الكتل السديمية . وتبعاً للاضطرابات النووية داخل أجسام هذا السدم ، ينبثق منها أحياناً أعمار كونية صغيرة تتألف من كتل غازية موهجة . وعندما تبرد هذه الأعمار بالتدريج ، تفقد قوتها وتحول إلى كتل متقلصة معتمة ،

(١) حسن أبو العينين « دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات » بيروت ( ١٩٦٧ ) - الاسكندرية - الطبعة الخامسة ( ١٩٩٦ )

(ب) حسن أبو العينين « أصول الجيومورفولوجيا » دار المعارف - ١٩٦٥ - الطبعة المأخرة ( ١٩٨٩ )

(ج) حسن أبو العينين « الألفانوغرافيا الطبيعية » دار المعارف ( ١٩٦٨ )

(1) Smart, W.M., "The origin of the Earth". A. Pelican Book (1959), P.202

(2) Hoyle, F., "The Nature of the Universe", London, 1946.

ثم قد تنجذب ثانية نحو جسم السديم الأكبر حجماً . وقد أوضح هويل كذلك أنه فى عام ١٥٨٢م ظهر نجم جديد فى الفضاء الكونى عرف باسم Tycho Brahe's Nova ، وقد كان هذا النجم مضيئاً بشدة لعدة أيام متوالية وشاهده الناس بالعين المجردة أثناء الليل والنهار . ولكن تلاشى هذا النجم بعد ميلاده بأيام معدودات فقط ، ويرجح أنه انجذب ثانية صوب جسم السديم الذى انفصل عنه . وفى عام ١٩١٨م ، ولد نجم جديد آخر هو Nova Aquilae ، وكان هذا النجم أشد للنجوم لمعاناً فى الفضاء الكونى حتى نهاية العام الذى ظهر خلاله ، وأصبح ليس له وجود فى وقتنا الحالى (١)

ويعتقد هويل (٢) أن كواكب المجموعة الشمسية لم تنفصل عن جسم الشمس الحالية ، ذلك لأن تلك الكواكب تقع بعيدة جداً عن موقع شمسنا الحالية ، ومن الصعب إرجاع ذلك إلى فعل تطاير الكواكب فى الفضاء ثم احتلالها لمدارات خاصة ثابتة بفعل قوة جذب الشمس التى انفصلت وتطايرت منها . ومن ثم رجح هويل بأنه كان لشمسنا الحالية نجم مصاحب آخر أطلق عليه اسم Supernova وكلاهما انفصلا من جسم سديم غازى هائل الحجم . وقد تصانف أن لخذ جسم النجم المصاحب لشمسنا الحالية يفقد كميات هائلة من غازاته بفعل الإشعاع ، ومن ثم أخذ يتقلص وينكمش ويدور حول نفسه بسرعة أكبر مما أدى إلى انفجار وتطاير أجزائه . ويعتقد هويل كذلك أن عملية الانفجار كانت من الشدة ، بحيث أدت إلى تطاير أجزاء الجسم المصاحب للشمس بعيداً عن الفضاء الكونى الذى نمره ، وأما بقايا نواته فقد ظلت قريبة من جسم الشمس ، وهى التى تعرضت لعملية التقلص والبرودة والانكماش والتفتت ثم الدوران المورى ، وتكونت منها كواكب المجموعة الشمسية التى تحكمت قوة جذب شمسنا الحالية فى تحديد مدارات هذه الكواكب .

ويؤكد هويل أن الفضاء الخارجى يحتوى على كثير من مجموعات

(1) Smart, W.M., "The origin of the Earth " A. Pelican Book (1959) p.202.

(2) Hoyle, F. "The Nature of the Universe", London, (1946).

السدم التى تعد اكبر حجما من شمسنا الحالية بالآلاف المرات ، وتعرض لجزء هذه السدم لتفاعلات نووية ينجم عنها تطاير بعض أجزائها فى الفضاء ، ثم سرعان ما تنجذب تلك الأجزاء المتطايرة إلى جسم السدم بعد برودتها وعندما تفقد قدراتها على الاستقلال بذاتها فى الفضاء . ويذكرنا هويل بأنه من بين أحسن أمثلة السدم الموهجة Luminous Nebulae هو « سديم الكابوريا أو السرطان البحرى » Crab Nebulae وأكد هويل بأن حجم هذا السديم الأخير لا يزال أخذًا فى الازدياد التدريجى المستمر بمعدل ٨٠٠ ميل فى الثانية ، وأنه يقع على بعد ٤٠٠ سنة ضوئية من كوكب الأرض .

ولكن لم يفسر الأستاذ هويل كيفية حدوث التفاعلات النووية -Nucle- ar Reaction داخل أجسام السدم ، وأسباب اختلاف طبيعة هذه التفاعلات من سديم إلى آخر . كما لم يوضح دورة هذه التفاعلات والنتائج التى تنجم عن حدوثها فى كل دورة أو مرحلة

وتبعًا لتفسير « هويل » فإن أفراد المجموعة الشمسية ما هى إلا انبثاقات تفجرت عن جسم السديم الهائل الحجم الذى يبعد كثيرا عن مواقع هذه الكواكب . وحيث انفصلت هذه الكواكب منذ زمن بعيد ، لذا فقد تلاشى لمعانها وضوؤها ، وبردت بالتدريج ، ثم شكلت هذه السدم تركيبها المعدنى ونظام ترتيب هذه المعادن داخل أجسامها وساعدها فى تلك عملية دوران هذه الكتل حول نفسها بعد أن تعرضت للبرودة التدريجية . كما ساهمت قوى الجذب بين هذه الأتعار على الاحتفاظ بمواقعها الحالية ودورانها حول نفسها فى منارات خاصة بالفضاء الكونى .

وعلى ذلك فإن أصحاب نظرية السوبرنوفيا يؤكدون أن جميع مواد وأجسام المجموعة الشمسية ، بل وغيرها من الكواكب الأخرى فى حالة تكوين وتعميم دائمين ومستمرين ، أو بمعنى آخر- يتمثل فى الفضاء الكونى فى الوقت الحاضر جميع فترات تطور الكواكب من حالة الطفولة

إلى حالة الشிخوخة ( أى من حالة تكوين المواد وتحطيمها إلى حالة تجميعها وترتيبها ) .

ويرجع أصحاب هذه النظرية فى الوقت الحاضر أن كواكب المجموعة الشمسية كانت تتألف من كتل هائلة الحجم من غازات الأيدروجين . ويرجع هؤلاء العلماء عملية تكثف الغازات وتجمعها ، ثم وبرودتها إلى أثر الضغط الناتج عن الأشعة الضوئية ، هذا إلى جانب أثر الانعكاسات الضوئية التى تعمل على دفع الجزيئات الغازية والمواد إلى الأمام حتى تصل إلى مواقع ثابتة لا تتحرك فيها تبعا لتأثير هذه المواد بضغطها متساوية على جميع الجوانب . وحين تبدأ عملية تجمع غازات الأيدروجين تساعد هذه بدورها على حدوث عملية تقلص الكتل الغازية وبرودتها ثم انكماشها ودورانها حول نفسها ، وهكذا تبدأ مجموعات المجرة فى التكوين ، وتظهر فى البداية على شكل السنة غازية هائلة الحجم والشكل تدور حول نفسها ، وعندما تتعرض بعض أجزائها للبرودة التدريجية تتكون فيها الأجسام الكونية والكواكب الجديدة ، التى يطلق عليها اسم السوبرنوفلا Supernova .

#### • نظرية الانفجارات النووية :

رجح هذه النظرية العالم الفلكى البلجيكى جورج لاميتير George Le-maitre فى عام ١٩٢٦ م ، وأكدها من بعده العالم الفلكى الروسى جورج جامو George Lemaitre فى عام ١٩٤٦ م . وتتلخص هذه النظرية فى أن قسما من الفضاء الكونى وهو الواقع فيما بين مدار الأرض حول الشمس تقريبا كان يتألف من غازات كثيفة ، وقد أطلق جامو على التجمعات الغازية الأولى اسم المجرة الأولية Proto galaxyys . وبمرور الزمن اتحدت ذرات هذه الغازات مع بعضها البعض وكونت الخلايا النووية . وقد صاحب تكوين الخلايا النووية انفجارات عنيفة أدت إلى تناثر الأجسام الكونية فى محيط أكبر اتساعاً من المحيط الذى كانت تشغله الغازات من قبل ، وكونت

ما يعرف باسم المجرة الفلكية ، وبعد عملية الانفجارات النووية بدأت تتكثف الغازات من جديد ، ومن ثم تمر بعمليات التقلص والانكماش والدوران وميلاد كواكب جديدة في الفضاء الخارجي . وقد رجح جامس Gamow أن حركة الانفجار النووي حدثت من مدة ١٠ - ١٣ بليون سنة مضت ، في حين بدأت عملية تكثيف الغازات بعد حدوث عملية الانفجار النووي بنحو ٢٥٠ مليون سنة .

أما العالم الكيميائي هارولد أوري H. C. Urey <sup>(١)</sup> ، فقد أوضح أن أفراد المجموعة الشمسية كانت عبارة عن سحب غازية تنتشر فيها المواد الصلبة الدقيقة الحجم ، وكانت تحيط بالشمس الأصلية على شكل قرص غازي مستدير الشكل A disk around the primitive sun ، واعتقد أوري أن جسم الشمس الأولية كان أكثر استقرارا بالنسبة للأطراف الهامشية للشمس . وعلى ذلك تعرض هذا القرص الغازي المستدير لعمليات التفتت والتقسيم ، وتهاضت الكتل الغازية عن بعضها البعض . وتبعاً للخصائص العامة للمواقع الجديدة التي احتلتها الكتل في الفضاء الكوني تعرضت لعمليات البرودة التدريجية ، وتكونت كواكب المجموعة الشمسية . (شكل ٢٩)

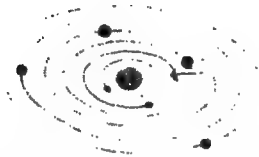
ويذكر أوري أن أهم المواد التي تدخل في تركيب هذه الكتل الغازية هي السليكات ، والحديد ، والمياه ، والنشادر ، وتبعاً لعمليات البرودة التدريجية تكاثفت الميعة وغاز النشادر بهما تتألف مركز هذه الكتل من النيكل والحديد والمواد التي لا زالت منصهرة حتى اليوم كما هو الحال بالنسبة لكوكب الأرض .

وعلى الرغم من تعدد الآراء والنظريات التي قدمت منذ بداية هذا القرن لتفسير نشأة المجموعة الشمسية ، إلا أنه كما يذكر الأستاذ سمارت W. Smart أننا ربما لن نعلم الطريقة الحقيقية التي تكونت بها كواكب هذه المجموعة وكيف جاءت إلى الوجود <sup>(٢)</sup> .

(1) Urey H. C., "The Planets, their origin and development", Oxford. Press, 1992.

(2) Smart, W. M., "The Origin of the Earth", (1959), P.188.

"It Is quite possible that we Shall never know , beyond a shadow of a doubt, how the planetary system came into existence".



( شكل ٢٩ ) موقع المجموعة الشمسية في مجرة درب التبانة

كما ذكر العالم هارولد أوري عام ١٩٥٢ م ، أنه عندما يعرض باحث  
لنشأة الأرض وتفسير ميلادها يجد نفسه في حاجة ماسة إلى معجزات  
إلهية تساهم في هذا التفسير مهما كانت دقة المناهج العلمية التي يستعين  
بها .

وتجدر الإشارة في هذا المجال إلى أن علماء الفلك والطبيعة الروس  
أسهموا في مشكلة تفسير نشأة كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية  
كواكب المجموعة الشمسية . ومن بين هؤلاء العلماء أوتو شميت Otto  
Schmidt ( ١٨٩١ - ١٩٥٦ م ) الذي تقدم بنظرية في عام ١٩٤٤ م مؤداها أن

(١) حسن أبو العيينة : سطح هذا الكوكب ٤ - بيروت - ١٩٦٨ ، ص ٤٩ .

الكواكب التى تتكون منها المجموعة الشمسية قد نشأت عن سديم غازى استطاعت الشمس أن تجذبه إليها وتأسره أثناء تحركه فى الفضاء ومن هنا يتضح لوجه الاختلاف بين آراء تشمبرلين ومولتين التى ترجع تكوين المجموعة الشمسية من جسم الشمس نفسه تبعاً لاقتراب نجم كبير الحجم من الشمس ، وبين آراء جيفريز وجينز والتى تتلخص نظريتهما فى تكوين المجموعة الشمسية من عمود غازى كان يحيط بقرص الشمس من قبل ، فى حين يرجع آثر شميت تكوين المجموعة الشمسية من جسم سديمى خارجى استطاعت الشمس أن تأسره من الفضاء الكونى . ويرجع شميت أن الأجسام الصلبة (نيازك) قد اتعدت وتجمعت فى مجال كتلة السديم الغازية تحت تأثير قوى الجاذبية ، فنشأ عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة . ويعتقد صاحب هذه النظرية أن الكواكب كانت تنمو بسرعة فى البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتساقط عليها وتتحد بها ، وفى أثناء المليونى سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة . ويعتقد « شميت » أنه قد صار إعادة توزيع كتل النيازك فى جرم الأرض وهى فى حالة ليونة دون أن تمر فى مرحلة سيولة انتقالية . ويقول « شميت » إن الأرض لم تكن على درجة كبيرة من الحرارة وقد حدث تسخين الأرض ورفع درجة حرارتها عن طريق تحلل العناصر المشعة (١) .

وعلى ذلك فإن كوكب الأرض وفقاً لآراء شميت قد تكون مثل بقية كواكب المجموعة الشمسية نتيجة لتجمع الأجسام الصلبة الصغيرة من كتل السديم . وقد كانت هذه العملية فى بادئ الأمر عاصفة عارمة إلا أنها أفضت فى الضعف بعد ذلك نتيجة لقلّة الأجسام الصلبة داخل كتل السديم . وربما تعرضت عملية تجمع الأجسام الصلبة وتكوين الكواكب خلال مراحل ما لفترة من الهدوء إلا أنها قد تظهر من جديد عندما يتجدد نشاط تساقط الأجسام الصلبة من كتل السديم (١) .

وتبعاً لرأى شميت فإن الشمس أقدم عمراً من بقية كواكب المجموعة الأخرى . هذا بخلاف آراء كانت ولاهلاس وبعض الفلكيين الآخرين الذين

(١) حسن أبو المعين « سطح هذا الكوكب » - بيروت ١٩٦٨ ، ص ٤٩ .

(٢) آثر شميت « نظرية فى أصل الأرض » ترجمة مجدى ناصف ، مراجعة الدكتور فائق فريد - القاهرة ١٩٦٦م - ص ٢٩ .

أوضحوا أن الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية تكونت خلال مرحلة واحدة ومن مادة واحدة .

ولقد أمكن لهذه النظرية أن تفسر بعض الظواهر الخاصة بالمجموعات الشمسية كالدورات الدائرية ودوران الكواكب ، والقوانين التي تحكم المسافات بين مختلف الكواكب ، وتقسم الكواكب إلى مجموعتين : مجموعة من الكواكب الكبيرة الحجم وأخرى من الكواكب الصغيرة الحجم من مثل طابع الأرض .

يتضح مما سبق أن الإنسان منذ يوم ظهوره على سطح الكواكب ، وبما أنعم الله عليه من نعمة العقل المفكر ، أخذ يبحث بحثاً دؤوباً في قضيتين كبيرتين هما قضية نشأة الكون ونظام الحركة فيه ، وقضية نشأة الكائنات الحية بما فيها الإنسان نفسه - وبداية ظهورها على سطح الأرض . وفيما يتعلق بنشأة الكون اقترح الإنسان على مر الأزمان بضع عشرات من النظريات والمقترحات التي حاولت جاهدة البحث عن الحقيقة والوصول إليها . وتختلف النظريات وتتجدد من عصر إلى عصر مع تقدم العلوم والتكنولوجيا واتساع الأفق والمعرفة . فالنظريات المادية الطبيعية وآراء المدارس الفكرية الإيلية والفيتاغورية والتصورات العقلية في نشأة الكون أيام الإغريق تختلف عن مفاهيم تلك النظريات الأخرى التي تقترح أن الأرض هي التي في مركز المجموعة الشمسية أو أن الشمس هي كذلك ، أو نظرية الجاذبية لنيوتن . ومنذ القرن الثامن عشر حتى الوقت الحاضر اقترح العلماء بضع عشرات أخرى من النظريات التي حاولت بدورها تفسير نشأة الكون في ضوء ما توصلت إليه العلوم الحديثة في الفلك والطبيعة والكيمياء والجيولوجيا والجغرافيا من نتائج وقوانين . ونستخلص من ذلك كله أن كل ما ذكره العلماء في هذا الشأن منذ ميلاد الإنسان وحتى اليوم هو عبارة عن افتراضات ظنية لا تدعمها أدلة يقينية . وعجز الإنسان تماماً ، بل وسيظل عاجزاً ، عن معرفة نشأة أي عنصر من عناصر الكون مهما تقدم العلم ، ذلك لأن العلم البشري هو نتاج التفكير العقلي للإنسان وهو تفكير له حدوده وإبعاده في المحيط الذي يعيش فيه

الإنسان إلا وهو كوكب الأرض . ومن هنا كانت القوانين العلمية التي توصل الإنسان إليها هي في حدود طاقته الفكرية وما أتيح له أن يتعلمه في البيئة التي يعيش فيها . فقوانين السرعة والمسافة والزمن والكثافة والتوازن عرفها الإنسان وتوصل إليها من خلال تجاربه العملية ومشاهداته الحقلية في نطاق ضيق وأفق محدود .

### الزمن الفلكي لميلاد كوكب الأرض :

لا تقاس الفترة الزمنية التي ولد فيها كوكب الأرض بالمقاييس الرمنية الجيولوجية بل تبعاً لطولها الكبير فإنها تقدر بالمقاييس الفلكية . وتبعاً للدراسات الحديثة لحساب كمية النشاط الإشعاعي التي تنبعث من الشمس والعلاقة بينها وبين بقية كواكب المجموعة الشمسية وأعمارها رجح العلماء أن عمر كوكب الأرض يبلغ نحو ٦ بليون سنة . وقد استنتج العلماء الزمن البعيد الذي تكونت إياه قشرة الأرض الخارجية باستخدام الساعة الذرية The Atomic Clock في قراءة تأثير فعل العناصر الطبيعية المشعة مثل اليورانيوم Uranium والثوريوم Thorium والرابيديوم Rabi-dimm والبوتاسيوم Potassium . فقد تبين أن هذه العناصر تتحلل تلقائياً في الصخور القديمة بدرجات متفاوتة ويصجم عنها نشوء عناصر أخرى وتحليل مثل هذه المعادن وإيجاد النسبة بين اليورانيوم الموجود في الصخر مثلاً والرماس الذي ينتج عادة عن انشطار اليورانيوم ، فإنه يمكن الوصول إلى معرفة الزمن الذي تكون الصخر خلاله . وبواسطة هذه الطريقة قدر العلماء العمر الجيولوجي لبعض صخور حقب ما قبل الكمبري من عدة مناطق مختلفة بحيث تكون بعضها منذ نحو ١٨٥٠ مليون سنة كما تبين لهم أن عمر صخور الجرانيت Shap granit في منطقة لوك ديستريكت Lake District بإنجلترا على أساس حساب كمية البوتاسيوم الممتلة في الصخور ، يتراوح من ٩٠ إلى ٣٨٠ مليون سنة . وأكدت نتائج دراسات علم الطبقات صحة هذا التقدير . أما الصخور المتحولة في شرق الولايات المتحدة الأمريكية والتي تحتوي على معادن الزركون فتبين للعلماء أن عمرها يبلغ نحو ١١٠٠ مليون سنة ، بينما تلك تحتوي على معادن البتيوتيت Biotit ( الميكا السوداء ) يعود عمرها إلى

نحو ٣٠٠ مليون سنة . وعلى ذلك يمكن القول أن القشرة الخارجية  
لكوكب الأرض تكونت منذ نحو ٤٠٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ مليون سنة على  
الأقل (١).

---

(١) د. حسن أبو العينين « الأنواع الجيولوجية ... » كتاب مترجم - جامعة الكويت ( ١٩٨٨ ) .

### الفصل الثالث

#### الأغلفة الكبرى التي يتألف منها كوكب الأرض

يشبه كوكب الأرض شكل البرتقالة أكثر من شكل الكرة التامة الاستدارة والمتساوية الأقطار ذلك لأنه منبعج نسبيا عند المناطق الاستوائية ، وشبه مفلطح الشكل بالمناطق القطبية ، ويبلغ طول القطر القطبي للأرض نحو ٧٩٠٠ ميل (١٢٦٤٠ كم) في حين يزيد طول القطر الاستوائى عن القطر القطبى بنحو ٢٧ ميلا (٤٢ كم) . وعلى ذلك يبلغ طول المحيط القطبى للأرض نحو ٢٤,٨٦٠ ميل في حين يبلغ طول المحيط الاستوائى للأرض نحو ٢٤,٩٠٢ ميل . ولكن يجب أن نضع في الاعتبار بأن انبعاج الأرض بالمناطق الاستوائية منها ليس بطاهرة بارزة ، ذلك لأنه لو قدرنا أن الكرة الأرضية صارت كرة طول قطرها خمسة أقدام فإن طول القطر الاستوائى تبعاً لعملية الانبعاج لا يزيد عن ٠,١ من البوصة . ويعزى سبب لاختلاف طول القطرين الاستوائى والقطبى للأرض إلى أثر فعل عملية دوران الأرض حول نفسها ، وما ينجم عن ذلك من تكوين قوة الطرد المركزية . وقد اعتقد بعض الباحثين بأنه لا يحدث في الوقت الحاضر أى زيادة تدريجية في طول القطر الاستوائى للأرض ، ومن ثم فإن سبب تلك الزيادة التي أدت إلى انبعاج المناطق الاستوائية من الأرض ترجع إلى فترة نشأتها الأولى إلى انبعاج المناطق الاستوائية من الأرض ترجع إلى فترة نشأتها الأولى عندما كانت صفور الأرض من اللزوجة بحيث تساعد على حدوث انبعاج للمواد التي تتألف منها في المناطق الاستوائية .

وقد ساعدت عملية دوران كوكب الأرض حول محوره واستمرار بروتة التدريجية على ترتيب كثافة المواد التي يتألف منها وتنظيم نطاقاتها المتتابعة داخل الأرض ، وهكذا تجمعت المواد الثقيلة الوزن العالية الكثافة صوب مركز الأرض ، واحتلت المواد الخفيفة الوزن ، القليلة الكثافة الأجزاء العليا من كوكب الأرض . هذا إلى جانب تعرض الأجزاء العليا من كوكب الأرض إلى عمليات البرودة التدريجية والتي أدت في النهاية إلى تكوين

## الغلاف الصخري .

ويمثل اليابس جزءاً محدوداً من سطح هذا الكوكب ، إذ تقدر نسبة مساحته بنحو ٢٩ ٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . كما أنه لا يمكن أن نفصل سطح هذا الكوكب ( الذي يمثل أعالي القشرة الخارجية للأرض ) عن بقية أغلفة الكرة الأرضية ، ذلك لأنه يتأثر بالحركات التكتونية التي تؤدي إلى رفع أو هبوط أجزاء من القشرة الأرضية ، وبفعل النشاطات البركانية التي تحدث في باطن الأرض قد تظهر لواجهاتها ومصبوراتها فوق سطح الأرض كما تتشكل ظواهر سطح الأرض التضاريسية وأقاليم المناخية وغطاءاته النباتية ، بل والنشاط البشري كذلك بمؤثرات الغلاف الجوي الذي يحيط بكوكب الأرض . ومن ثم يمكن أن نحدد النطاقات أو الأغلفة الكبرى التي يتألف منها كوكب الأرض عامة ويتشكل بها سطحه خاصة فيما يلي <sup>(١)</sup> :

(١) الغلاف الجوي The Atmosphere

(٢) الغلاف المائي The Hydrosphere

(٣) الغلاف الصخري The Lithosphere

## (١) الغلاف الجوي

يعد الغلاف الجوي أكبر سمكا من الغلاف الصخري لقشرة الأرض ، فبينما يبلغ متوسط سمك هذا الغلاف نحو ٢٠٠ ميل ، لا يزيد سمك الغلاف الصخري عن ٤٥ ميلا . وقد تكون الغلاف الغازي عند بداية نشأته بفعل الغازات والأبخرة التي تكونت حول كوكب الأرض أثناء عملية برودته التدريجية . واخذ ينساب إلى الغلاف الجوي خلال فترات التواريخ الجيولوجية الطويل لقشرة الأرض كميات كبيرة من الغازات والأتربة المنبعثة مع المصهورات البركانية . هذا إلى جانب كميات كبيرة من بخار الماء تتمثل في الأجزاء السفلى من الغلاف الجوي وتعمد إلى أثر تعرض <sup>(١)</sup> يمكن إضافة الغطاءات النباتية الطبيعية والحيوانات البرية كغلاف خامس إلى جانب هذه المجموعة ويعرف هذا الغطاء الأخير باسم الغلاف الحيوي .

المسطحات المائية فوق سطح الأرض لعمليات التبخر الشديدة . ومن ثم يتكون الغلاف الجوى من العناصر الآتية :

١ - الغازات الأولية التى بقيت فوق القشرة الأرضية ، إبان مراحل تكوينها على شكل نطاق غازى هائل الحجم يحيط بها .

٢ - الغازات التى قد تندفع من باطن الأرض الى السطح خلال فتحات الفوالق والشقوق وفوهات البراكين والنفورات الحارة .

٣ - الغازات الناجمة عن تعرض المسطحات المائية لفعل الاشعاع الشمسى والتبخر .

٤ - الأتربة والرمال الدقيقة الحجم والعالقة بالجو تبعاً لحدوث الرياح والعواصف المحلية المحملة بالأتربة .

٥ - الأتربة البركانية الدقيقة الحجم ، وبقايا مواد الشهب والنيازك التى تحترق فى طبقات الجو العليا .

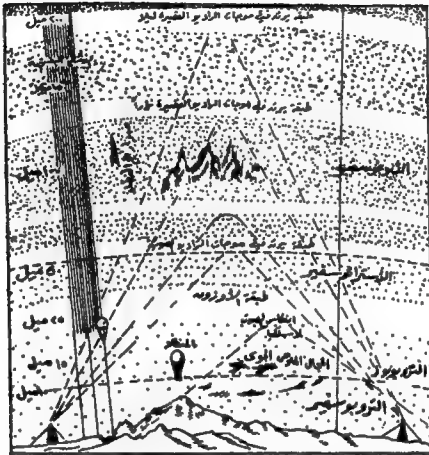
٦ - الأتربة وكتل الدخان التى تتجمع عادة فوق مداخل المدن الصناعية الكبرى وتؤثر هذه الأتربة والغازات الأخيرة فى تشكيل عناصر مناخ وطقس المدن الصناعية من ناحية ، وعلى الأحوال الصحية لسكان هذه المدن من ناحية أخرى .

ويتألف الغلاف الجوى أساساً من غازات أهمها جميعاً النيتروجين والأوكسجين حيث تبلغ نسبتهما بالغلاف الجوى ( دون حساب بخار الماء ) حوالى ٩٩ ٪ من جملة الغازات الممتلئة فيه . فى حين تمثل بقية الغازات الأخرى بالغلاف الجوى حوالى ١ ٪ من حجمه ، ومع ذلك تبين بأن لهذه الغازات المحددة الكمية أثراً كبيراً فى تشكيل الاضطرابات والعمليات المختلفة التى تحدث فى الطبقات الجوية . ويمثل النيتروجين حوالى ٧٨.٠٣ ٪ من جملة التركيب العام للغلاف الجوى فى حين يمثل الأوكسجين حوالى ٢٠.٩٩ ٪ ، والأرجون ٠.٩٤ ٪ ، وثانى أكسيد الكربون ٠.٠٣ ٪ ، الأيدروجين ٠.٠١ ٪ .

وقد تبين بأنه على الرغم من أن نسبة بعض الغازات قد ترتفع في الغلاف الجوى فوق مناطق محلية خاصة كما هو الحال فوق مناطق فوهات المداخن بالمدن الصناعية وفوق فوهات البراكين ، وأسطح الشقوق والنافورات التى ينبثق منها غازات باطنية ، إلا أن الغلاف الجوى يتميز بتجانس تركيبه العام . وقد يعزى هذا التجانس إلى أثر فعل الرياح من ناحية وطبيعة امتزاج الغازات فيما بينها ومسعودها إلى أعلى فى غسوة تباين كثافتها إلى الطبقات العليا من ناحية أخرى ، ومن ثم تستقر الغازات الخفيفة الوزن جدا بطبقات الجو العليا ، وقدر بعض الباحثين بأن نسبة ثانى اكسيد الكربون قد ارتفعت فى الغلاف الجوى العالى ( وخاصة بالقرب من سطح الأرض ) بنحو ١٠ ٪ عما كان عليه خلال القرن التاسع عشر . ويعزى ذلك إلى تلوث الهواء بفعل غازات ومداخن المصانع واحتراق مواد الوقود وانسياب بقاياها فى الجو . وتبعا لاختلاف الخصائص العامة لأجزاء الغلاف الجوى وتنوع الغازات فيه من ارتفاع إلى آخر أمكن تصنيفه إلى ثلاث طبقات رئيسية هى :

#### (أ) طبقة التروبوسفير :

ويقصد بها الطبقة السفلى من الغلاف الجوى والتى تتركز فيها بين ارتفاع ٥ إلى ١٠ أميال من سطح الأرض ، وتنخفض درجة الحرارة بهذه الطبقة بمعدل ٢,٥ ف لكل ١٠٠ قدم . ( حيث تتشكل الحرارة فى هذا النطاق بفعل الاشعاع الأرضى ) . ويتميز التركيب الغازى لهذه الطبقة بتجانسه من جزء إلى آخر ، وتعزى التغيرات اليومية فى حالات الطقس فوق سطح الأرض إلى ما يحدث أساسا فى هذه الطبقة . وتضم طبقة التروبوسفير كل بخار الماء الذى يتمثل فى الغلاف الجوى ، كما تشمل على السحب ، وعلى أكثر من ٩٠ ٪ من حجم الكتل الهوائية . ويتجمع فى هذه الطبقة كذلك جميع غاز ثانى اكسيد الكربون المتمثل فى الغلاف الجوى . وتعرف الأجزاء العليا من طبقة التروبوسفير باسم طبقة التروبوبوز Tropopause حيث تتميز هذه الطبقة الأخيرة بندرة وجود بخار الماء وثانى اكسيد الكربون من ناحية وتأثيرها البسيط جدا بالاشعاع الأرضى من ناحية أخرى . شكل ( ٣٠ ) .



شكل (٣٠) الفصائص العامة للغلاف الجوي

#### (ب) طبقة الاستراتوسفير : Stratosphere

سميت هذه الطبقة بتلك التسمية تبعاً لتجانس درجة حرارة الهواء بها ، كما أنها تخلو تماماً من حدوث العواصف والأعاصير داخل نطاقها . وتتميز المناطق الحدية فيما بين طبقة التروبوبوز والاستراتوسفير ببهودتها لتندرة وصول تأثير الإشعاع الأرضي إلى تلك المناطق البعيدة من الغلاف الجوي ، وقد تبين بأنه على ارتفاع عشرة أميال فوق المناطق الاستوائية ، وسبعة أميال فوق مناطق العروض المعتدلة ، وخمسة أميال فوق المناطق القطبية لا يظهر تأثير الإشعاع الأرضي .

وتتخذ طبقة الاستراتوسفير فيما بين ارتفاع ٣٠ إلى ٥٠ ميل فوق سطح الأرض . ويبلغ الضغط الجوي بأعلى هذه الطبقة نحو ٠,٥ ملم

( يبلغ الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر نحو ٦٧٠ ملم ) ومعنى هذا انه يتمثل بتلك الطبقة أقل  $\frac{1}{1000}$  من حجم الغلاف الجوى . ومن ثم أصبح من الصعب جدا أن تخترق الطائرات هذا المجال الجوى البعيد ويحتوى القسم الأسفل من الاستراتوسفير على غازات مهمة تكون طبقة الأوزون التى تحمى سطح الأرض من تساقط الأشعة فوق البنفسجية وتستغل هذه الطبقة فى عمليات إرسال للموجات الصوتية الطويلة لأجهزة الراديو خلال نطاقها .

#### (ج) طبقة الأيونوسفير : Ionosphere

وتمثل الغطاء الخارجى الأعلى لطبقة الغلاف الجوى وتمتد فيما بين ارتفاع ٥٠ الى ٢٠٠ ميل فوق سطح الأرض . وتستخدم هذه الطبقة عند إرسال الموجات الصوتية القصيرة لأجهزة الراديو من محطة ما ، واستقبالها بمحطة أخرى . لكن يختلف انعكاس الموجات الصوتية القصيرة بتلك الطبقة من وقت الى آخر (فيما بين الليل والنهار) وتبعا لمدى الارتفاع عن سطح الأرض . وكثيرا ما يحدث فى هذه الطبقة توهج الشهب والتيازك واحتراقها خلال عبورها طبقات الأيونوسفير . وقد تمكنت الصواريخ الصناعية الحديثة من عبورها هذه الطبقة والوصول الى الفضاء الخارجى .

ويتميز الغلاف الجوى بأنه نطاق غير مستقر ، بل هو دائم الحركة والنشاط من لحظة إلى أخرى . وينجم عن حركته هذه تشكيلة بعناصر مختلفة فيه ( تتمثل فى الحرارة والضغط والرياح والأمطار والثلج والبرد ) تعمل بدورها على تعديل الخصائص الطبيعية للجو من مكان الى آخر .

ويعتبر الجو من أهم العوامل التى تؤثر فى تشكيل مظهر سطح الأرض وظواهره ، حيث يؤثر كيميائيا وميكانيكيا فى الصخور . وقد ينجم عن فعل التجوية الكيميائية تشكيل صلابة بعض الصخور وتحلل بعضها الآخر بواسطة التفاعلات الكيميائية التى تحدث فيها . وأظهر مثال

على ذلك تكوين غطاءات التربة التى تعلو معظم مسخورد سطح الأرض بفعل التحلل والتفتت الصخرى .

وفى حالة حركة الهواء تتكون الرياح التى تعد بدورها من بين أهم العوامل التى تشكل ظواهر السطح وتقوم بعمليات النقل والنحت والارساب . ويشتهر فعل الرياح خاصة فى المناطق الجافة والتى تتميز بخلو أسطحها من الغطاءات النباتية وذلك مثل مناطق الصحارى الصارة الجافة . وعندما يتعرض بخار الماء فى الجو الى التكاثف قد تتكون الأمطار أو تسقط الثلوج . وقد ينجم عن سقوط الأمطار الغزيرة وأنصهار بعض الثلج فوق سطح الأرض تكوين المجارى النهرية والسيول والبحيرات والشلالات ، وهذه بدورها تشكل مظاهر سطح الأرض وتعمل على تنوع ظواهره من إقليم الى آخر حسب ظروفه المناخية وعوامل التعرية التى يتشكل مدى فعلها تبعاً لتلك الظروف .

ويمثل الغلاف الجوى كذلك الغطاء الحرارى الملطف للكوكب الأرض . فلولا وجود الغلاف الجوى محيطاً بالكرة الأرضية لسقطت أشعة الشمس على سطح الأرض بشدة وقوة أكبر عما هى عليه اليوم ، كما أنها سترتد بسرعة كذلك فى نفس الوقت الذى يعتمد فيه سطح الأرض هذه الأشعة - وتبعاً لذلك قد لا تناسب درجة حرارة الهواء حياة الإنسان كما وأن المدى الحرارى الضامى سيكون أكبر بكثير جداً عما هو عليه فى بعض أجزاء من سطح الأرض اليوم . فقد أوضحت الدراسات المناخية بأن الهواء الملامس لسطح الأرض يستمد حرارته من الإشعاع الشمسى Insolation . وأن ما يصل الى سطح الأرض من قوة حرارة الكتلة الغازية الشمسية يقدر بنحو ١٠٠ مليون منها وقد كذا ذلك بأن ما تفقده الأشعة الشمسية فى الجو ( قبل وصولها الى سطح الأرض ) نحو ٣٤ ٪ من كميتها تبعاً لانعكاسات هذه الأشعة أثناء عبورها طبقات الجو العليا ، كما تمتص المواد العالقة بالجو منها نحو ١٩ ٪ ومن ثم فإن نصيب سطح الأرض نحو ٤٧ ٪ من جملة الأشعة الشمسية . وإذا علمنا بأن الغلاف الصخرى يمتص هو الآخر ٥ ٪ من الأشعة الشمسية الساقطة فوق سطحه ، على ذلك يرد الى الهواء

الملامس لسطح الأرض بقية الأشعة والتي تقدر بنحو ٤٢٪ فقط من كمية الأشعة الشمسية . وتعرف هذه الأشعة الأخيرة باسم الإشعاع الأرضي Terrestrial Radiation . وتدين مظاهر الحياة فوق سطح هذا الكوكب الى تلك الكمىة من الأشعة التى تعمل على تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض وتشكيل الظروف الطبيعية والبيولوجية التى تتمثل فوق هذا السطح .

## (٢) الغلاف المائى

لا تتركب القشرة الأرضية من اليابس أو القارات فقط بل يقع فوقها كذلك مساحات واسعة من المياه ، تتمثل أساسا فى مياه البحار والمحيطات والبحيرات ، يطلق عليها تعبير الغلاف المائى . وقد دلت الدراسات الأوقيانوغرافية على أن المسطحات المائية تشغل مساحة تبلغ نحو ٧٠,٨٠٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية ، ومن ثم لا تزيد مساحة اليابس عن ٢٩,٢٠٪ من جملة مساحة سطح الأرض التى تقدر بنحو ٥١٠ مليون كم<sup>٢</sup> (١) . وعلى الرغم من اتساع مساحة المسطحات المائية إلا أن حجمها لا يزيد عن  $\frac{1}{495}$  من حجم الأرض . ومع ذلك فإن للغلاف المائى دوه المهم فى تشكيل مظاهر سطح الأرض المختلفة ، وتمثل مياه البحار والمحيطات أكثر من ٩٨٪ من جملة حجم الغلاف المائى . وتدخل دراسته ضمن علم البحار والمحيطات وأفرعه المختلفة (٢) .

والى وقت قريب ظل العلماء يعتقدون بأن البحار والمحيطات كانت تشغل فى الماضى خلال العصور الجيولوجية نفس الأبعاد التى تشغلها فى الوقت الحاضر ، وإن التغيرات بين كل من المسطحات المائية وأجزاء اليابس والتى كانت تحدث بجوار خط الساحل ما هى إلا تعديلات ثانوية

(1) Chamberlin, T. G., and Salisbury, R. S., A " Geology " London, (1908), p.7.

(٢) حسن أبو العينين (أصول الجيومورفولوجيا ) الاسكندرية - الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥) .

حسن أبو العينين (دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات ) بيروت ١٩٧٦ .  
الطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦) .

محلية ، وقد أكد بعض الباحثين كذلك بأن هناك بعض التغيرات تحدث في قاع المحيط نفسه ، كما هو الحال عند حدوث حركات التمدد الكبرى في قاع المحيط أو انخفاضات أرضية أو ارتفاع نطاقات طولية كبرى من أراضي على شكل سلاسل جبلية بحرية ، تؤثر بدورها في تذبذب مستوى سطح البحر العام .

وقد تضاربت آراء الباحثين حول تفسير نشأة الغلاف المائي أو بمعنى آخر كيفية تكوين مياه البحار والمحيطات ، ثم مدى اختلاف حجم هذه المياه من عصر جيولوجي إلى آخر . وتبعاً لتقدير كينن Kuenen في عام ١٩٥٠ (١) يبلغ حجم مياه البحار والمحيطات في الوقت الحاضر نحو  $10 \times 1370$  كيلو متر مكعب أى نحو ١.٣٧ بليون كم<sup>٣</sup> ، وتقدر نسبة الأملاح فيها بنحو ٣٪ من حجم المياه .

وقد اعتقد بعض الباحثين أن مصدر هذه الكمية الهائلة من المياه تعزى إلى كمية التساقط المتلاحقة فوق سطح الأرض بالإضافة إلى انصهار الجليد وما تصبه المجارى النهرية من مياه في الأحواض البحرية . ولكن يتضح أن هذه المياه بأشكالها المختلفة كانت في وقت ما جزءاً من مياه المحيط ثم تعرضت للتبخر والتكاثف وعادت ثانية إلى المحيط نفسه على شكل أمطار ساقطة أو مياه منصهرة من الثلوج . وقد أوضحت الدراسات المتيورولوجية كذلك بأنه إذا تعرض كل نطاق الغلاف الجوى الذى يحيط بالكرة الأرضية اليوم للتكاثف التام فلا يمكن أن يحتوى على أكثر من ١٣,٠٠٠ مليون متر مكعب من المياه . كما أكد ولیم رابى W. Rabey أن نسبة المياه التى أضافها الغلاف الجوى الأولى الذى تكون مع بداية ميلاد الكرة الأرضية تمثل نحو ١٠٪ فقط من مجموع حجم مياه البحار والمحيطات .

وعلى ذلك ظهر فى الأفق نظريات جديدة تؤكد أن المصدر الأساسى لمياه البحار والمحيطات هو المياه الأولية Junvenile Water والتي يقصد بها

---

(١) Kuenen, P. H. " Marine geology ", Wiley, N. Y. (1950).

تلك المياه التي تظهر لأول مرة على سطح الأرض أو في قاع المحيط والتي مصدرها باطن الأرض نفسه أو مع إنبثاق المصهورات و الصخور البركانية التي كانت تقذف مع انبثاق المصهورات البركانية وتكوين السدود والعروق البركانية . وأوضح ويلسون T. Wilson بناء على ذلك أن كملا من نشأة الغلاف الجوى والمسطحات المائية والقشرة الأرضية ترجع الى مصدر واحد هو ظهور الصخور الساخنة على سطح كوكب الأرض عند بداية نشأة الأرض ، ثم النشاط البركاني والثورات الأرضية الباطنية الكبرى التي صاحبت مراحل تكوين قشرة الأرض خلال تاريخها الجيولوجي الطويل .

وأكد فينر 1926 Fenner<sup>(١)</sup> وزيس 1926 Zies<sup>(٢)</sup> عند دراستهما للمصهورات البركانية بإقليم كتماي Katmai بالأسكا ، أن نسبة كبيرة من الكلوريد Chlorides والفلوريد Fluorides منتجة مع مواد كبريتية بالإضافة الى بخار الماء تنبثق جميعا مع المصهورات البركانية . وقد تعزى النسبة العالية من أيونات الكلوريد في مياه البحار الى حدوث المصهورات البركانية فوق أرضية البحار والمحيطات .

وقد بدأت مياه البحار تتجمع في المنخفضات المحيطية الكبرى منذ بداية تعرض الصخور الساخنة للزجة لقشرة الأرض لعمليات التبريد المستمرة . وحيث تبلغ مساحة أرض اليابس نحو ١٥٠ مليون كم<sup>٢</sup> وأن متوسط سمك قشرة اليابس نحو ٣٣ كم ، فإن حجم كتلة اليابس تبلغ نحو بليون كم<sup>٣</sup> . أما قشرة الأرض أسفل المحيطات فهي أقل سمكا حيث أن متوسط سمكها نحو ٥ كم وتغطي مساحة تبلغ نحو ٣٦٠ مليون كم<sup>٢</sup> ، وعلى ذلك فإن حجم كتلة الأرض أسفل المحيطات تبلغ نحو ٢ بليون كم<sup>٣</sup> . أما الحجم الاجمالي لكتلة قشرة الأرض فيبلغ نحو ٨ بليون كم<sup>٣</sup> . وحسب دراسات جورانسون 1931 Goranson<sup>(٣)</sup> الذي أوضح أن متوسط

(1) Fenner, C. N., in Journal of Geology , vol. 34, (1926), 673-762

(2) Zies E. G., in National Geographical Magazine  
vol.(4)(1929)61-79.

(3) Goranson, R. W., in The American Jour of Science,  
vol.5,(1931)448-502.

نسبة حجم المياه الأولية التي تنساب مع الثورات البركانية تبلغ نحو ٥٪ من جملة حجم المصهورات ، على ذلك فإن قشرة الأرض الخارجية كلها تحتوى على كمية من المياه الأولية تبلغ نحو ٤,٠ بليون كم<sup>٣</sup> من المياه . بينما حجم مياه البحار فى الواقع هو ١,٣ بليون كم<sup>٣</sup> .

ولهذا رجح الباحثون كذلك أنه الى جانب المياه الأولية التى تكثف من مسخو قشرة الأرض الساخنة إبان فترة برودتها الأولى ، أضيفت الى المسطحات البحرية مياه أولية أخرى مصدرها الباطن العميق للأرض ، وذلك مع انبثاقات المصهورات البركانية الكبرى . وقد رجحوا أن متوسط حجم الانبثاقات البركانية السنوية فوق سطح القشرة الأرضية يبلغ نحو ٢ كم<sup>٣</sup> . وعلى أساس أن نحو ٥٪ من هذا الحجم يمثل مياه أولية فإن للمسطحات المائية يزداد حجمها بمتوسط سنوى يبلغ نحو ١,٠ كم<sup>٣</sup> من المياه . وإذا قدرنا أن عمر التكوينات الصخرية لسطح الأرض من العصر الكمبرى حتى الوقت الحاضر بحوالى ٦٠٠ مليون سنة فإن حجم المياه فى المحيطات زادت خلال الفترة الجيولوجية بمقدار ٦١٠×٦ كم<sup>٣</sup> ( ٦٠ مليون كيلو متر مكعب ) .

ويفصح أن هذه الكمية بسيطة جدا كذلك إذا ما قورنت بالحجم الهائل لمياه البحار ، ولذا يجب أن نضع فى الاعتبار اختلاف شدة الثورات البركانية وتنوع قوة نشاطها خلال العصور الجيولوجية المختلفة . فقد تبين أن هناك عصورا جيولوجية تميزت بنشاط بركانى أقوى مما هو عليه اليوم ، بينما هناك كذلك عصور جيولوجية أخرى انخمد فيها النشاط البركانى لفترة طويلة من الزمن . وقد أكد الباحث تونهوفل Iowen hofel بأن كمية المياه فى المحيطات أزدادت تدريجيا باستمرار على طول فترات العصور الجيولوجية المتعاقبة وأن هذه الزيادة تختلف كذلك من عصر الى عصر آخر تبعاً الكيفية حدوث الثورات البركانية والحركات التكتونية ، التى انتابت مسخو قشرة الأرض من زمن جيولوجى الى آخر . وقد

(1) king C . A . M . "Oceanography for geographers" . London (1962)71-23.

استنتج أن مياه البحار والمحيطات قد زاد حجمها خلال فترات الحركات التكتونية الكبرى ، وخاصة الحركات الكارثية والكاليديونية والهرسينية (١) . وقد حسب إدmond هالى Edmund Hally فى عام ١٧١٥ ، كمية الاملاح التى تصبها الأنهار فى البحار ، أملا أن يحدد الزمن الذى تكونت فيه مياه البحر . وقد عدل فى هذه الآراء كل من جولى Joly وكلارك E W. Clarke ، وقد تبين من نتائج الدراسات الحديثة أن كمية الصوديوم فى البحار قد تجمعت خلال ١٠٠ مليون سنة فقط (نهاية الزمن الجيولوجى الثانى وبداية الزمن الثالث) . ولكن هذه النتائج لا تتل على الواقع ، حيث عثر الباحثون على كائنات بحرية أولية ترجع الى عصر الكمبرى وما قبله (٦٠٠ مليون سنة) ، وعلى ذلك فإن الزمن الذى تكونت فيه الأحواض البحرية وكذلك مياهها أقدم من عمر الكائنات البحرية التى كانت تعيش فى هذه المياه . وأوضح فون أركس Von Arx.1962 (١) ، أن مياه البحار كانت مالحة كذلك منذ العصر السيلورى الأعلى على الأقل ( منذ ٤٤٠ مليون سنة ) حيث عثر فى صخور هذا العصر على طبقات أرسابية ملحية بحرية .

وتقدر المساحة الإجمالية للمسطحات المائية على وجه القشرة الأرضية بنحو ١٤٢,٢٥٦,٣٠٠ ميلا مربعا . ولكن تشمل هذه المساحة أجزاء ضحلة واسعة لا تعد ضمنا من المحيطات الحقيقية بل هى أقرب الى القارات منها الى البحر . وهى التى يطلق عليها تعبير الرفارف القارية Continental Shelves ويبلغ متوسط مساحتها نحو ١٠,٠٠٠,٠٠٠ ميلا مربعا (٢) . فإذا استقلنا هذه المساحة الأخيرة من المساحة الإجمالية للمسطحات المائية ،

(1) Von Arx, W.S., "An Introduction to physical oceanography". London, (1962),P.32.

(٢) أطلق بعض الباحثين على الرفارف القارية تعبير الأرصيف القارية ولكن كلمة رصيف تختلط مع تعبير الأرصيف أو السهول تحتاتية البحرية marine platforms ومن ثم يحسن استخدام تعبير الرفارف القارية ومعناها أطراف أو مواسم القارات والمفرد ، رقف .

(3) Chamberlin, T. C, and Salisbury, R. D, "Geology..."London, 1909 P.11.

فإن مساحة الأخيرة تبلغ نحو ١٣٣,٠٠٠,٠٠٠ ميلا مربعا (٣) . ومن ثم يمكن القول إننا انخفض مستوى سطح البحر الحالي بنحو ٦٠٠ قدما وانحصر عن المياه الحالية التي تشغلها الرفارف القارية ، فإن المياه الباقية في أحواض المحيطات التي تشغلها الرفارف القارية ، فإن المياه الباقية في أحواض المحيطات هي التي تمثل الأحواض المحيطية الحقيقية - True Ocean basins كما لا تتساوى هذه الأحواض الأخيرة من حيث العمق ، بل تختلف من مكان إلى آخر . ويمكن القول أن اختلاف نسبة مساحة المسطحات المائية تبعاً لاختلاف أعماقها هي كما يلي (١) :

الأعماق بالأقدام	مساحتها بالنسبة لمساحة الأحواض المحيطية الحقيقية
١٢٠٠٠ - ٦٠٠	٢٠٪
١٨٠٠٠ - ١٢٠٠٠	٥٣٪
٣٠٠٠٠ - ١٨٠٠٠	٤٪

هذا ويدخل في تركيب مياه البحار والمحيطات بعض المواد والأملاح الذائبة التي تعمل على تشكيل الخصائص الطبيعية لمياه البحار . وقد قدرت نسبة الأملاح في مياه البحار والمحيطات بنحو ٣٤,٤ في الألف ، وتتركب هذه الأملاح بنسب متفاوتة من العناصر الآتية ،

#### النسبة المئوية

٧٧,٧٥٨	كلوريد الصوديوم (١)
١٠,٨٧٨	كلوريد الماغنسيوم
٤,٧٣٧	سلفات الماغنسيوم
٣,٥٠٠	سلفات الكالسيوم
٢,٤٦٥	سلفات البوتاسيوم
٠,٢١٧	بروميد الماغنسيوم
٠,٢٤٥	كربونات الكالسيوم
١٠٠,٠٠٠	

(١) Rastall, R.H., "Textbook of geology" London, 1960.P8.

(٢) Rastall, Op. Cit p.11,

والى جانب المسطحات المائية الحقيقية التى تتمثل فى البحار والمحيطات ، تنتشر فوق سطح اليابس كذلك عديد من البحيرات والمستنقعات المائية بالإضافة الى المجارى النهرية وكلها تشق صخور القشرة الأرضية وتعمل على تشكيل مظهرها وتعديله .

وعلى الرغم من تعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض الا أن فعل المياه المباشر وغير المباشر يعد أهم هذه العوامل جميعا . ويتمثل فعل المياه فى العمل الذى تقوم به الامطار والأنهار والثلوج والشلالات والأمواج والبحيرات والمياه الجوفية عند نحت الصخر وتفتيته وتملئه ، كما تقوم كذلك بنقل المفتتات الصخرية من مكان الى آخر ، وإرسابها على شكل ظاهرات أخرى جديدة فى مناطق مختلفة من سطح الأرض . أى بمعنى آخر تقوم هذه العوامل بفعل الهدم والنقل والارساب ، وتشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح الأرض

### (٣) الغلاف الصخرى

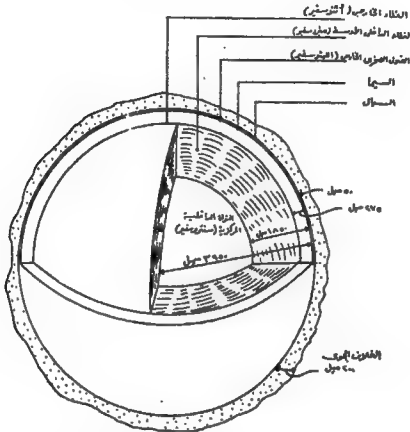
يعد الغلاف الصخرى فى الحقيقة جزءا من الأرض نفسها الا أنه الجزء الخارجى الذى يمثل سطح القشرة أو الطبقات العليا التى تتרכب منها الأرض . وقد ساعدت عمليات دوران الأرض حول محورها من جهة والبرودة التدريجية التى تعرضت لها من جهة أخرى على تنسيق وترتيب مواد الأرض تبعا لاختلاف كثافتها وتكوين الغلاف الصخرى الخارجى أو القشرة الأرضية الخارجية التى تتألف من صخور بردت تماما وتختلف عن المصهورات الواقعة فى باطن الأرض<sup>(١)</sup> .

ومن ثم تتרכب القشرة الأرضية بدورها من طبقات صخرية تختلف من حيث كثافتها وخصائص تركيبها المعدنى . ويطلق على القشرة السطحية للأرض اسم طبقات «السيال» Sial ، ذلك لأن معادن صخورها تتרכب أساسا من سليكات الألومنيوم . ويبلغ متوسط كثافتها نحو ٢,٨٠

---

(١) فيرنسيد ، و . ج . ، بولمان ، ١٠ م . (الجيولوجيا) . الألف كتاب (٢١٧) - ترجمة محمد إبراهيم عطية .

ويتراوح سمكها من ٢ إلى ١٥ كم . ويلاحظ أن هذه الطبقة رقيقة السمك خاصة أسفل البحار والمحيطات بل تكاد تكون معدومة بقاع المحيط الهادى (٧) فى حين يزداد سمكها فى قارات اليابس (شكل ٣١) .



شكل (٣١) التركيب العام للغلاف الصخرى وباطن الأرض

وتقع أسفل صخور السيلال ، طبقات أخرى من الصخور أعلى كثافة حيث تتركب من معادن ثقيلة ، ويطلق عليها اسم طبقات السيمما (Sima) - سليكات الماغنسيوم - وتزيد كثافتها عن ٢.٤٠ ومن الصعب تحديد عمق

- (١) - حسن أبو العينين ( أصول الجيومورفولوجيا ) دار المعارف - الاسكندرية - ١٩٦٦ والطبعة الحادية عشرة - الاسكندرية (١٩٩٥) .  
ب - حسن أبو العينين ( جغرافية البحار والمحيطات ) دار مكتبة الجامعة العربية - بيروت ١٩٦٧ - الطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦) .

السيما بدقة على الرغم من حدوث الزلازل على أعماق تبعد بنحو ٢١٠٠ كم من سطح السيلال الأرضى . ويقدر معظم الكتاب متوسط سمك القشرة الأرضية ( طبقات السيلال والسيما معا ) بنحو ٤٥ ميلا . وتعرف هذه الطبقة الصخرية الخارجية باسم الليثوسفير Lithosphere .

ويقع أسفل القشرة الخارجية للأرض طبقة صخرية أخرى أعلى سمكا ، وتتركب من معادن وصخور أعلى كثافة وثقلا من تلك التى تتمثل فى القشرة الخارجية ، ومن ثم يطلق على هذه الطبقة اسم طبقة المانتل ( Mantle ) ( الطبقة الغطائية الداخلية ) . ويبلغ متوسط سمكها نحو ١٨٠٠ ميل ، وتتراوح كثافة اللواد التى تتألف منها من ٥ إلى ٨ ومن ثم فهى تتركب من مواد معدنية ثقيلة .

#### الإثوسفير : Asthenosphere

يطلق العلماء على منطقة صخور قشرة الأرض التى تقع فى القسم الأسفل من الطبقة الغطائية للأرض « المانتل Mantle » شبه المنصهرة تعبير نطاق الأثوسفير . فى حين يطلق العلماء على نطاق قشرة الأرض الخارجية نفسه The Crust of the earth ( التى تتركب هنا من نطاق من صخور السيلال Sial وصخور السيما Sima ) بالإضافة الى أعالي القسم الأعلى من الطبقة الغطائية للأرض ( المانتيل ) تعبير الغلاف الصخرى للأرض Lithosphere . ويمثل حد الموهو « الحد الموهورفيشى Mohorovicic discontinuity » قاعدة القشرة الصخرية للأرض حيث تعمل عنده سرعة الموجات الزلزالية الى ٨.١ كم / الثانية ، أما حد الأندسيت Andesite Line فهو الحد الفاصل سيزمياً بين نطاق السيلال Sial ونطاق السيما Sima فى قشرة الأرض نفسها ، وتزداد سرعة الموجات الزلزالية أسفل حد الموهو وكلما اتجهنا صوب الأعماق البعيدة من الأرض . ولكن تبين أنه عند عمق ٧٠ إلى ٨٠ كم من سطح الأرض تنخفض سرعة الموجات الزلزالية نسبياً تبعاً لأنصهار مواد المانتل فى هذا النطاق والذى أطلق عليه تعبير نطاق الرهيوستفير Rheosphere .

ويتألف باطن الأرض من القلب أو الجوف المركزى Core أو ما يعرف بالنواة المركزية للأرض Centrosphere ويتركب من مواد أعلى كثافة وثقلا من تلك التى تتتركب منها بقية نطاقات الأرض . ويتألف باطن الأرض من النيكل والحديد ومتوسط كثافة هذه المواد تبلغ ١١ وسمكها نحو ٤٠٠٠ ميل .

ويعد الأستاذ باريل Barrell, J. 1914 هو أول من اقترح استخدام تعبير « الأثنوسفير » على أنه أحد النطاقات الرئيسية الثلاثة لجوف الأرض وذلك على أساس اختلاف صلابتها وهى :

#### أ- نطاق الليثوسفير Lithosphere

( النطاق الصخري للأرض ) ويبلغ سمكه نحو ١ كم ويعتمد فيما بين سطح الأرض حتى أعالي الغطاء الداخلى لها ( المانتل ) ويتميز بشدة تماسكه وصلابته Its rigidity ، وإلى الألواح الجيولوجية Geological Plates تقع أسفل هذا النطاق مباشرة

#### ب- نطاق الأثنوسفير Asthenosphere

وهو نطاق ضعيف نسبياً وأقل تماسكا وشبه لزج ويقع أسفل النطاق الصخري للأرض . وحسب درجة انصهاره وخواص مواده ولزوجته فإنه يعد قابلا لكى يتشكل تحت تأثير الحركات التكتونية وانهاض المصهورات اللافيه . ومن ثم فإنه يعد مناطق نشوء الألواح الجيولوجية وميدان انسيابها وتحركها أسفل قشرة الأرض .

#### ج- النطاق المركزى للأرض (جوف الأرض) Centrosphere

وهو نطاق قوى ومتماسك بصورة عامة ويقع أسفل نطاق الأثنوسفير ، ويمتد هذا النطاق حسب دراسات باريل Barrell الى جوف الأرض حتى نقطة مركزها الداخلى .

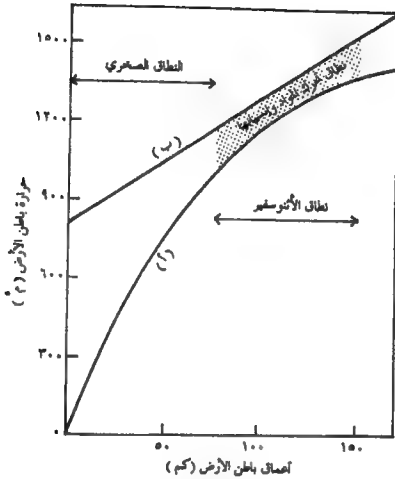
ويتوقف تحديد ابعاد كل من هذه النطاقات الثلاثة ( القشرة الخارجية للأرض ، والأثنوسفير وجوف الأرض ) على مدى تقدم المعلومات السيزمية التى تطرحها العلوم المختلفة وخاصة علم الزلازل

والجيوفيزيكا ، والتي تسهم في حساب اختلاف سرعة الموجات الزلزالية في باطن الأرض وفي معرفة التركيب الداخلي لثقافات المختلفة وخواصها المعدنية والجيوفيزيكية .

**خصائص الأثنوسفير الجيوديناميكية :**

اعتبرت النظريات الجيوديناميكية الحديثة نطاق الأثنوسفير من بين أهم النطاقات التي تشكل المظهر التضاريسي العام لسطح الأرض وذلك تبعاً لقابليته الشديدة للتآكل والتآكل . فما يحدث في باطن الأرض من تجمع للمواد المشعة وإنصهار أجزاء من مواد باطن الأرض وصعود التيارات الحرارية الساخنة إلى أعلى يؤثر بدوره في نطاق الأثنوسفير ، وينتج عن ذلك تحرك مواد اللزجة أفقياً ورأسياً ومن ثم نشوء كل الظواهر التضاريسية الكبرى على سطح الأرض . بل تؤكد الدراسات الجيوفيزيكية كذلك بأن اختلاف مدى لزوجة مواد الأثنوسفير من زمن جيولوجي إلى آخر هي المسؤولة عن تحرك الألواح الجيولوجية الواقعة في القسم الأعلى منها ومن ثم تكوين الأخاديد المحيطية وتزحزح القارات ونشوء السلاسل الجبلية الرئيسية في القارات ، والحوافز المحيطية Sub-marine ridges في أرضية المحيطات وذلك بفعل الألواح الجيولوجية المتقابلة Convergent plates وتلك المتباعدة Divergent plates .

وعلى ذلك تتأثر مواد الأثنوسفير بشدة الاختلافات الحرارية التي ننتابها وبثأثيرات التيارات الحرارية الساخنة الصاعدة إليها من جوف الأرض . فمن المعلوم أن الخصائص الطبيعية للمعادن تتأثر بشدة باختلاف حرارتها ، ويظهر أثر ذلك في خصائص لزجتها Viscosity أو تَبَنُّها وقابليتها للتآكل وتقارب درجة حرارة مواد الأرض في نطاق الأثنوسفير ( حيث تزداد درجة الحرارة للمواد كلما اتجهنا صوب جوف الأرض ) مع درجة حرارة إنصهار هذه المواد وقابليتها للتآكل (شكل ٣٢) . وقد تصل درجة الحرارة في بعض مواد الأثنوسفير (١٠٠٠ - ١٥٠٠ م) إلى الدرجة التي تنصهر فيها هذه المواد وتحول إلى مصهورات لافيا Magma



شكل ( ٣٢ ) نطاق الانوسفير .

شكل (٣٢) الحرارة الجوفية في مواد قشرة الأرض وفي طبقة المانتل وعلى أساسها

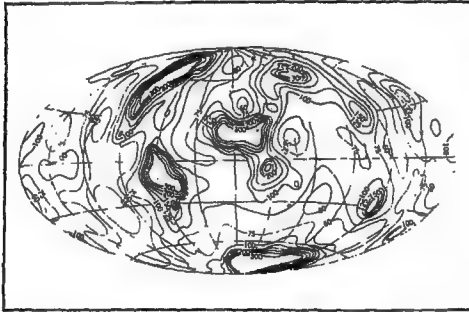
يتضح أعماق نطاق الأنوسفير .

ملحني (أ) يوضح زيادة حرارة الأرض مع الأعماق .

ملحني (ب) يوضح الحرارة المطلوبة لكي تنصهر عندها مواد باطن الأرض وتكون

نطاق الأنوسفير .

وتتوقف درجة حرارة أى جزء من مواد باطن الأرض عند أعماقها المختلفة تبعاً لعمليات صعود التيارات الحرارية الساخنة من أسفل إلى أعلى عند هذه الأجزاء . ومن ثم فإن ارتفاع أو طي قشرة الأرض على شكل سلاسل جبلية لا يحدث عند كل أجزاء سطح الأرض ، بل تميزت كل فترة بنائية تكتونية Orogenesis بتركز السلاسل الجبلية فى مناطق محددة تبعاً لمدى تأثير هذه المناطق بفعل عمليات صعود التيارات الساخنة فى نطاق الأنتوسفير . وعلى ذلك فإن عمق نطاق الأنتوسفير ومدى بعده عن سطح الأرض يختلف إذن من موقع إلى آخر ومن فترة جيولوجية إلى أخرى . ففى المناطق التى تأثر فيها نطاق الأنتوسفير بالتيارات الساخنة المساعدة تمتد أبعده هو الآخر إلى أعلى ويقترب نسبياً من سطح الأرض ، وذلك بخلاف تلك المناطق فيه والتى تأثرت بالتيارات الهابطة إلى أسفل فيصبح الأنتوسفير هنا على أعماق بعيدة من سطح الأرض كما يظهر ذلك فى شكل (٣٣) .



شكل (٣٣) أعماق نطاق الأنتوسفير ومدى بعده عن سطح الأرض (كم) تبعاً لتأثيره بفعل التيارات الحرارية المساعدة والهابطة .

ولا يؤثر اختلاف التركيب الصخري في اختلاف سرعة الموجات الزلزالية التي تخترق الطبقات الباطنية للأرض بل كذلك في طبيعة المنحنى الحرارى لقشرة الأرض وباطنها . فقد تبين من الدراسات التي أجريت في بئر كارنارفور Carnarvon في جنوب إفريقيا ، بأن درجة الحرارة تزداد تبعاً لمدى التعمق في باطن قشرة الأرض . فمن سطح الأرض حتى عمق نصف ميل منه ، ترتفع درجة الحرارة بمعدل ٥١ م لكل ٧٠ قدم . ثم من عمق نصف ميل الى عمق ميل واحد في القشرة الأرضية ترتفع درجة الحرارة بمعدل ٥١ م لكل ١٣٧ قدم . كما تبين أن درجة غليان المياه (١٠٠ مئوية) لا تبعد كثيراً عن سطح الأرض إذ تتمثل عند عمق ٧٢٠٠ قدم من سطح الأرض كما هو الحال في بئر لونج بيتش Long Beach بكاليفورنيا . وعند قاع ذلك البئر (٩٠٠٠ قدم من السطح) تبلغ درجة حرارة المياه حوالي ١٢٠ م ، في حين قد تصل درجة حرارة اللافا المنصهرة ، والمنبثقة من باطن الأرض الى نحو ١٢٠٠ م .

ومن نتائج الدراسات التحليلية الكيميائية لصخور سطح الأرض تبين أن الغلاف الصخري يتألف كيميائياً من أربعة عناصر رئيسية هي

الأكسجين	ونسبة وجوده في الصخر	٤٦,٨ %
السيليكون	ونسبة وجوده في الصخر	٢٨ %
الألمنيوم	ونسبة وجوده في الصخر	٧,٥ %
الحديد	ونسبة وجوده في الصخر	٤,٢ %

وتتمثل أهم العناصر الأخرى الثانوية في الكالسيوم (٣,٣ %) ، والصوديوم (٢,٤ %) ، والبوتاسيوم (٢,٤ %) ، والمغنسيوم (٢,٢ %) .

وتتألف قشرة الأرض من مجموعات متنوعة من الصخور أساسها الصخور التي انبثقت من باطن الأرض وظهرت فوق السطح وأخذت تبرد بالتدرج لتكون الغطاء الصخري الخارجى لهذا الكوكب ، وتعرف تلك الصخور باسم الصخور الأولية Primary Rocks أو الصخور النارية

Igneos Rocks ومن بينها البازلت ، والجرانيت ، والسيانيت والنولوريت . ومن تفتت الصخور النارية بعد تعرضها لعوامل التعرية ، وتبعاً للارسابات المختلفة فوق البحار والمحيطات والبحيرات تتكون الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks ومن بينها الصخور الجيرية والرملية ، والطينية والفرينية . وإذا تعرضت الصخور النارية والرسوبية للعمل الضغط الشديد أو الحرارة الشديدة أو لكليهما معاً فإن هذه الصخور سرعان ما تتحول إلى حالة أخرى تختلف خواصها ومميزاتها عن صورتها الأصلية ، وتعرف هنا باسم الصخور للتحولة Metamorphic Rocks ومن بين أمثلة هذه المجموعة صخر النيس Gneiss المتحول عن الجرانيت ، وصخر الشيست Schist المتحول عن الصخور الطينية والتارية والرخام Marble المتحول عن الصخور الجيرية (١) .

وعلى ذلك قد تمتد إلى الصخور الرسوبية وبعض من الصخور للتحولة من أصل ارسابي على حفريات الكائنات التي كانت تعيش فيها خلال فترات التاريخ الجيولوجي الطويل . وتبعاً للنتائج المستمدة من دراسة الحفريات في الطبقات الصخرية المختلفة من القشرة الأرضية ، ومعرفة عمر هذه الطبقات كذلك بحساب النشاط الاشعاعي ، نجح العلماء في تقسيم طبقات صخور القشرة الأرضية إلى مجموعات مختلفة حسب عمرها أو الأزمنة التي تكونت فيها . ومن ثم قسم الباحثون الزمن الجيولوجي إلى أقسام كبرى أطلق عليها تعبير أحقاب Eras وهذه بدورها قسمت إلى أقسام ثانوية يطلق عليها عصور Periods . ويوضح الجدول الآتي لحقاب الزمن الجيولوجي لقشرة الأرض ، والعصور المختلفة التي تكون كل حقبة ، وكذلك سمك الطبقات الصخرية وطول الزمن الجيولوجي الذي شغله كل عصر (٢) ويوضح هذا الجدول كذلك الحركات التكتونية الكبرى ( الكارنيه والكاليدونية والهرسينية والألبية ) التي انتهت صخور القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية المختلفة .

(١) للدراسة للتصيلية راجع الفصل الخامس من هذا الكتاب .

(2) Holmes, A., "Physical Geology", London, 1950.

ويعزى حدوث الحركات التكتونية الكبرى Orogenesis إلى شدة نشاط المواد الإشعاعية المتجمعة في باطن الأرض ، في حين يرجع الهدوء النسبي لها إلى ضعف وتدنى تجمع المواد الاشعاعية . ومن ثم نلاحظ أن فترة الهدوء التكتوني النسبي تقع دائماً بين حركتين تكتونيتين عنيفتين . وليس من الصواب الاعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة مستمرة بل هو يبرد أو يسخن تبعاً لمدى نشاط وتجمع المواد الإشعاعية في باطن الأرض . وإذا كان باطن الأرض يبرد بالتدريج لكان لزاماً على الحركات التكتونية الأحدث عمراً ( مثل الحركة الألبية الميوسينية ) أن تكون أقل قوة وتأثيراً في تشكيل سطح الأرض عن تلك للحركات الأقدم منها عمراً ( مثل الحركة الكاليدونية والحركة الهرسينية ) ، إلا أن الواقع هو خلاف ذلك مما يدل على أنه ليس من الصواب الإعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة متتالية ومن ثم فنحن على سطح الأرض نعيش اليوم في مرحلة هدوء تكتوني نسبي ، وقد يحدث بعد عدة ملايين من السنين ، وعند تجمع المواد المشعة في المواد العالية الكثافة بباطن الأرض ، أن يتعرض سطح الأرض لحركة تكتونية عنيفة جديدة وهذه الحركة قد تكون أقل قوة أو أشد من تلك الحركة التي سبقتها وفقاً لمدى تجمع المواد المشعة في باطن الأرض وتبعاً لتفاعل هذه المواد ومدى نشاطها . كما تبين أن المواد المشعة يزداد تجمعها في باطن الأرض وحول مركزها بالذات مع وجود المعادن الأعلى ثقلاً عن غيرها (الحديد والنيكل) ومن ثم تقل نسبة وجود هذه المواد المشعة في القشرة الخارجية لسطح الأرض .

تقسيم الزمن الجيولوجي لقشرة الأرض إلى أحقاب وعصور  
والحركات التكتونية الكبرى التي انتهت صفور القشرة الأرضية :

الحقب Era	العصر Period	الحركات التكتونية	سمك الطبقات الآلاف الأقدام	عمر كل عصر (مليون سنة)	المجموع
الزمن الرابع (الكواترنيري)	Holocene (عوليسين) Pleistocene	الحركة الألبية Alpine X	٦	١	١
الزمن الثالث	Pliocene Miocene Oligocene Eocene Paleocene		١٥ ٣١ ٣٦ ٣ ١٢	١ ١٤ ١٥ ٢ ١	١١ ٣٥ ٤ ٦ ٧
الزمن الثاني (الميزوسين)	Cretaceous Jurassic Triassic		٥١ ٤٤ ٣	٦٥ ٤٥ ٤٥	١٣٥ ١٨ ٢٢٥
الزمن الأول (الباليوزين)	Permian Carboniferous Devonian Silurian Ordovician Cambrian		١٩ ٤٦ ٣٨ ٣٤ ٤٠ ٤٠	٤٥ ٨٠ ٥٠ ٤٠ ٦٠ ١٠٠	٢٧٠ ٣٥٠ ٤٤٠ ٤٤٠ ٥٠٠ ٦٠٠
ما قبل الكامبري	Proterozoic Archaean (Eozoic)	الحركة الكامبرية Cambrian	- - -	- - -	- - -

وينتخل ضمن الغلاف الصخري كذلك الرفارف القارية Continental  
Shelves وعلى الرغم من أن أرضية الرفارف القارية مقططة بمياه البحار

والمحيطات إلا أنها تعتبر الحواف الهامشية للقارات حيث تتألف من نفس التركيب الجيولوجي لصخور يابس القارات المجاور . وتتميز الارتفاعات القارية بأنها مناطق ضحلة من أرضية البحر ولا يزيد عمقها عن ١٠٠ قامة ، ويبلغ مجموع مساحتها في كل للسطحات المائية نحو ١٠ مليون ميل مربع . وقد يبهرننا للظهر التضاريسى لسطح الأرض من لودية وأخاديد عميقة وجبال شاهقة الارتفاع كالهيمالايا والروكى والالب . ولكن إذا ما قورنت هذه الظواهر بالأخاديد المحيطية ، وأعماق المحيطات البعيدة ، والحوارج الجبلية المحيطية لتبين أن الأخيرة تبدو بصورة بارزة واضحة بصورة أكبر من تضاريس سطح الأرض بكثير . ويوضح الجدول الآتى اختلاف نسبة مساحة أجزاء سطح الأرض تبعاً لمستويات مختلفة عن مستوى سطح البحر الحالى

النسبة المئوية	نسبة مساحته الأرض ( فوق هذه للتاسوب )	نسبة مساحته الأرض ( / تحت هذه للتاسوب )
١ - ٢٤ قما فوق مستوى سطح البحر	١	٩٩ ٩٩٦
٢ - ١٨ قما فوق مستوى سطح البحر	٩٩	٩٩ ٩١
٣ - ١٧ قما فوق مستوى سطح البحر	٧	٩٩ ٣
٤ - ٦ قما فوق مستوى سطح البحر	٣ ٢	٩٧ ٧
٥ - مستوى سطح البحر	٢٧ ٧	٧٢ ٣
١ - ٦ قما تحت مستوى سطح البحر	٤٢ ٥	٥٧ ٥
٢ - ١٢ ٠٠٠ قما تحت مستوى سطح البحر	٥٧ ٣	٤٢ ٧٠
٣ - ١٨ ٠٠٠ قما تحت مستوى سطح البحر	٩٦ ٨٠٠	٣ ٢٠٠
٤ - ٢٤ ٠٠٠ قما تحت مستوى سطح البحر	٩٩ ٩٣٠	٠ ٠٧٠

ويتضح من دراسة هذا الجدول أن نسبة كبيرة من سطح الأرض تتميز بانخفاض منسوبها ، فنحو ٢٧٪ من مساحة سطح الأرض تقع فوق منسوب ٦٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر لا تزيد عن ٢٪ من جملة

المساحة الكلية لسطح الأرض . ويقدر بأن نحو ٨٥ ٪ من جملة مساحة الأرض تقع فيما بين مستوى سطح البحر ومنسوب ٦٠٠ قدم . ويمكن أن نلخص تلك الملاحظات في البيان الآتي <sup>(١)</sup> :

النسبة المئوية لمساحة الأرض عند هذا المنسوب	منسوب الأرض تحت مستوى سطح البحر (قدم)	منسوب الأراضي فوق مستوى سطح البحر (قدم)
٢٢ /		١ - أكثر من ٦ قدم
٢٥٥ /		٢ - فيما بين سطح البحر وارتفاع ٦ قدم
١٤٨ /		٣ - فيما بين سطح البحر ومنسوب ٥ قدم تحت سطح البحر
١٤٨ /	١ من ١٢ قدم	
٣٩٤ /	١٨ من ١٢ قدم	
٢١ /	١٨ من ٢٤ قدم	

ويتبين من هذا العرض أن نسبة كبيرة جدا من سطح كوكب الأرض تقع تحت مستوى سطح البحر الحالي

وتتشكل قشرة اليابس كذلك بواسطة بحار هامشية ، أو شبه قارية يطلق عليها تعبير Epicontinental Seas ذلك لأنها تتكون فوق الرفاراف القارية نفسها أو على الحواف الهامشية الحدية لليابس ، ومن بين أمثلة هذه البحار بحر البلطيق ، وبحر الشمال ، وخليج هدسن ، وبحر اليابان ، وبحر الصين .

(1) Chamberlin, T. C. and Salisbury R. D. "Geology" , London (1909) p.17

## الباب الثانى

# التركيب الصخرى لقشرة الأرض

الفصل الرابع : المعادن

الفصل الخامس : الصخور



## الفصل الرابع المعادن

تتألف قشرة الأرض من صخور متنوعة النشأة إلا أنها جميعاً تتكون بدورها من معادن يدخل في تركيبها عناصر كيميائية متعددة . وقد تبين أن قشرة الأرض تتألف من ثمانية عناصر كيميائية رئيسة تتمثل في الأكسجين والسليكون والألمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم وتكون هذه العناصر الأخيرة مجتمعة نحو ٩٨.٥٨ / من مجموع وزن القشرة الأرضية . أما العناصر الأخرى الأقل أهمية فلا تزيد نسبة وزنها عن ١.٥ / من حملة وزن القشرة الأرضية وتتضمن في الأيدروحين والكربون والمغنسيوم والكبريت والكلور واليورانيوم والرمصاص واليورانيوم<sup>(١)</sup> ويوضح الجداول التالية نسبة وزن كل من هذه العناصر المختلفة بالنسبة لجملة وزن صخور قشرة الأرض

النسبة وجودها في القشرة الأرضية بالوزن في المائ	الرمز باللاتينية	العناصر الكيميائية
٧١.٦٤ /	O	الأكسجين
٢٧.١٩	Si	السليكون
٨.٧	Al	الألمنيوم
٥.٥	Fe	الحديد
٣.٦٥	Ca	الكالسيوم
٢.٧٥	Na	الصوديوم
٢.٥٨	K	البوتاسيوم
٢.٨	Mg	المغنسيوم
٩٨.٥٨ /	H	الهيدروجين
١٤.٠	C	الكربون
٠.٠٩٤	Mn	المنغنيز
٠.٠٩٠	S	الكبريت
٠.٨٢	Cl	الكلور
٠.٤٥	U	اليورانيوم
٠.٠٠٨	Ph	الرمصاص
٠.٠٠٢	B	البورون
٠.٠٠١	-	عناصر أخرى
١٠٠.٠٠٠ %		

(1) Holmes C S., "College Geology" N . Y (1962) P.36.

ويلاحظ بأن ستة من هذه العناصر يمكن اعتبارها من مجموعة المعادن كذلك ، وخاصة عندما توجد هذه العناصر بكثرة فى الطبيعة وبحيث تتخذ لنفسها الصورة العامة للمعدن . ومن بين هذه العناصر الحديد الذى يعد فى نفس الوقت من المعادن الهامة التى يقوم الإنسان باستغلالها فى مشروعاته الصناعية المختلفة . وتزيد نسبة الألومنيوم فى قشرة الأرض عن نسبة الحديد فيها ، كما يمتزج المغنسيوم عادة بالألومنيوم ويتميز المغنسيوم بثقله النوعى الخفيف وفى بعض الأحيان يظهر كل من الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم على شكل معادن ، وتتحد هذه العناصر بسرعة مع بخار الماء الموجود بالجو . وعلى الرغم من المظهر المعدنى للسليكون إلا أنه لا يعتبر معدنا ، ويمتزج للسليكون بكثير من الشوائب الطبيعية . ومن دراسة البيان السابق يتضح أن أكثر من نصف وزن قشرة الأرض يتألف من الأكسجين والآخر عبارة عن غاز كذلك يمثل أكثر من حجم الغازات الموجودة بالغلاف الجوى المحيط بالأرض . ويمتزج الأكسجين بمعظم معادن قشرة الأرض وذلك عن طريق عملية الأكسدة .

وعندما تلتحم ذرات العناصر الكيميائية فى الطبيعة تكون ما يعرف باسم المعادن . ومن ثم فإن بعض المعادن تتكون من عنصر واحد من بينها الماس Diamond الذى يتكون من الكربون النقى . ومن ثم فإن المعدن عبارة عن مادة متجانسة تتكون تحت ظروف طبيعية أو كيميائية فى باطن قشرة الأرض أو فوق سطحها دون أن يتدخل الإنسان فى عملية تكوينها . وتتميز جميع أجزاء المعدن الواحد بالتجانس ، ويتشابه كل جزء من أجزاء المعدن طبيعيا وكيميائيا مع بقية الأجزاء الأخرى من كتلة المعدن ويزيد عدد المعادن المعروفة فى الوقت الحاضر عن ثلاثة آلاف معدن .

## تمييز المعادن

ينبغي أن يتعرف كل من يهيمه دراسة الاشكال التضاريسية لسطح الأرض على أهم المعادن التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض . وإن دلت الخصائص الطبيعية للمعدن على شيء فإنما تدل على الظروف التى صاحبت نشأة المعدن وطريقة تكوينه .

وهكذا نجد أن هناك بعض المعادن تحكى لنا أكثر من غيرها عن سر نشؤها ، وهناك معادن أخرى يمكن تمييزها بسهولة عن غيرها ، فى حين أن هناك بعض المعادن تتطلب الكثير من الخبرة حتى يمكن معرفتها وتحديدتها . ومن ثم تتطلب عملية تمييز المعادن وتصنيف بعضها عن البعض الآخر ، معرفة الكثير عن خصائصها الطبيعية العامة ودراساتها كذلك تحت الميكروسكوب . ولكن ليس من مهام الجغرافى أو الجيومورفولوجى القيام بفحص المعادن تحت الميكروسكوب إذ أن هذا العمل يدخل فى مجال باحث علم المعادن Minerologist ولكن يهم الجيومورفولوجى أن يتعرف على مجموعات المعادن طبيعياً وفى الحقل حتى يتمكن من أن يدرك أنواع المعادن التى تدخل فى تركيب صخور المنطقة التى يقوم بدراستها ، وأثرها فى نسيج الصخر وتركيبه ومدى مقاومته لعوامل التعرية .

## الخواص الطبيعية للمعادن

### Physical Properties of Minerals

يقصد بالخصائص الطبيعية للمعادن ، تلك المميزات التى تشكل المعادن وتميزها بصورة مباشرة وأن يتعرف الباحث على المعادن بمجرد النظر إليها بالعين المجردة ووسائل طبيعية بسيطة . ومن ثم قد يستخدم الباحث فى هذه الحالة بعض الأدوات البسيطة مثل عدسة مكبرة ، ومطواه

لخدش المعدن وتحديد درجة صلابته . ومن بين أهم الخواص الطبيعية للمعادن ما يلي :

#### ١ - الشكل البلورى : Crystal Form

عند ترسيب المعادن أو أثناء تعرض المعادن المنصهرة لبرودة تدريجية تتصلب أجزاء المعادن فى أشكال هندسية منتظمة تعرف باسم البلورات Crystals . ويطلق على عملية تكوين بلورات المعادن اسم عملية التبلور Crystallisation ولا تقتصر عملية التبلور على مجرد تكوين الأشكال الخارجية للمعدن بل كثيرا ما يصحب ذلك انتظام فى جميع الخواص الطبيعية الأخرى مثل الصلابة ودرجة التماسك<sup>(١)</sup> ، ومرور الضوء فى المعدن ، ومدى انتقال الحرارة فيه . وتتكون أسطح البلورة المعدنية من عدة أوجه بلورية Crystal Faces تؤلف مجتمعة الشكل المميز للبلورة المعدنية .

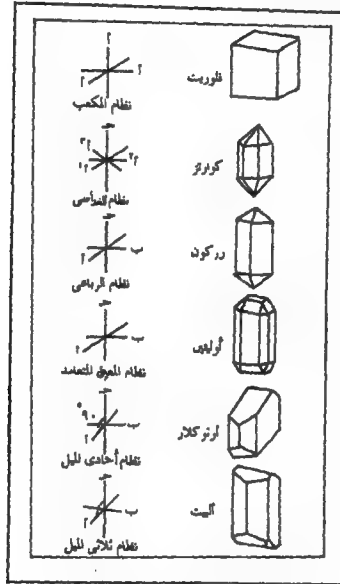
وتتقابل الأوجه البلورية فى خطوط مستقيمة تسمى حروف البلورة Crystal edges ، وتعرف الزوايا المحصورة بين أوجه البلورة باسم زوايا البلورة Crystal angles ( شكل ٣٤ ) .

وحتى عند تكسر المعدن وتشويه شكله الهندسى الخارجى وبحيث لا يتبقى من هذا الشكل سوى وجهين منه فقط ، فيمكن للباحث أن يستنتج بقية أشكال أوجه المعدن ، وتحديد الشكل البلورى العام للمعدن .

ومن بين أقدم الدراسات الخاصة بقياس زوايا بلورات المعادن تلك التى قام بها نيقولا سستينو فى عام ١٦٦٩ عند قياسه الزوايا المحصورة بين الأوجه البلورية المتعائلة لعينات مختلفة من معدن الكوارتز . وقد أوضح سستينو بأن بلورة الكوارتز تتألف من ستة أوجه رأسية ( تعرف باسم المنشورات ) وتنتهى بستة أوجه مائلة مكونة فى مجملتها شكل الهرم السداسى ووصل الى نتيجة هامة تتلخص فى أنه مهما كان الاختلاف فى شكل بلورة الكوارتز وتنوع حجمها فإن الزوايا المحصورة بين أوجه

(١) حسن صادق (الجيولوجيا) - القاهرة ١٩٢٠ - ص ١٤ .

المنشور المتجاورة دائما تكون  $١٢٠^\circ$  والزوايا المحصورة بين الأوجه المتماثلة تكون ثابتة كذلك .



شكل (٢٤) بعض أشكال البلورات المعدنية

ويلاحظ أن البلورات المعدنية الصغيرة الحجم كثيرا ما تكون متكاملة وأكثر تناسقا من البلورات المعدنية الكبيرة الحجم . وقد يعزى ذلك إلى أن أجزاء البلورات المعدنية الكبيرة الحجم قد تتأثر بنمو بلوري مختلف من

جزء إلى آخر . وعلى الرغم من أن أوجه المعدن الواحد في بلورات مختلفة قد تكون مختلفة الحجم إلا أن مقدار الزوايا المحصورة بين أوجه المعدن تتشابه مع بعضها البعض الآخر تشابهاً كبيراً . أو بمعنى آخر ليست العبرة بحجم البلورة بل بشكلها فقد تكون بعض بلورات المعدن الواحد صغيرة أو ميكروسكوبية الحجم . في حين قد يكون بعضها الآخر كبير ١٥٤ الحجم إلا أن الشكل البلوري يكون متشابهاً في الحالتين

وعند فحص البلورات المختلفة للمعادن يذهب في الكثير من أوضاع أوجه البلورات وأحرفها متماثلة إلى درجة كبيرة . وينتج عن ذلك تكرار تكوين أوجه وأحرف معينة للبلورة . ومن ثم يستطيع الناس أن يصنف مجموعات المعادن على أساس التماثل البلوري الخاص ببلورات كل معدن ويحدد هذا التماثل في البلورة المعدنية بالنسبة إلى خط نصه رى يمر بمركز البلورة بحيث يمكن أن تنور البلورة عليه وأن يظهر نفس المنظر أكثر من مرة خلال عملية الدوران بدرجة كاملة ويطلق على هذا الخط اسم مسنوى أو محور التماثل ' Axis of Symmetry

وعدمه' يكون 'المسنور' المعدنية محصوراً تصورياً للتماثل بمعنى ذلك أن لهذه البلورة أوجه موزعية على الجوانب المتقابلة للبلورة وأن كل نقطة على البلورة لها ما يعاثلها على أبعاد متساوية في الجانب الآخر من المركز

وقد ميز علماء المعادن أربعة أنواع مختلفة من محاور التماثل تتلخص فيما يلي :

#### ١ - المحور الثنائي :

Two - fold, diad, half turn, or digonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة مرتين خلال دورة كاملة أي كل ١٨٠°

٢ - المحور الثلاثى :

Three - fold, triad, third turn, or trigonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة ثلاث مرات خلال دورة كاملة أى كل ١٢٠° .

٣ - المحور الرباعى :

Four - fold, tetrad, quarter turn or tetragonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة أربع مرات خلال دورة كاملة أى كل ٩٠° .

٤ - المحور السداسى :

Six - fold, hexad, or - sixth turn, or hexagonal axis

حيث يتكرر شكل أوجه البلورة ست مرات خلال دورة كاملة أى كل ٦٠° .

ويطلق على النظام البلورى التام للمعدن تعبير enehedral فى حين إذا كان الشكل البلورى للمعدن غير تام ، أو بمعنى آخر أن بعض أوجه المعدن أكبر حجما من بعضها الآخر فيطلق على النظام البلورى للمعدن فى هذه الحالة تعبير anehedral . ويلاحظ بأنه يمكن أن نجد قطعة معدنية تتركب من جزيئات غير تامة anehedral grains إلا أن كل بلورة من جزيئات هذا المعدن لابد وأن تشتمل على نفس النظام الذرى الخاص بهذا المعدن .

### أشكال النظام البلورى

تقسم بلورات المعادن بحسب اختلاف أشكالها ودرجة تناسبها ، ومقدار الزوايا التى تتقاطع فيها محاورها التصورية إلى سبع مجموعات تتلخص فيما يلى <sup>(١)</sup> :

(١) للدراسة التفصيلية راجع للرجع السابق - ص ١٦ .

B - Lellant, c., "Rocks, minerals and fossils of the world" PAN BOOK , London (1990)P.50

### أ - النظام المكعب : Cubic System

وتتميز بلوراته بثلاثة محاور تصورية متساوية ومتعامدة ومنها المكعب البسيط مثل بلورات ملح الطعام وبلورات معدن البيريت Pyrite والمكعب ذو الثمانية أوجه Octahedron مثل بلورات أكسيد الحديد المغناطيسي magnetite والمكعب ذو الاثنى عشر وجه Dodecahedron مثل معدن العقيق الأحمر Garent (شكل ٣٥) .



شكل (٣٥) النظام المكعب لبلورات معدن البيريت

لاحظ وجود الحنود الخطية المتوازية Striations لأسطح المعدن وأن هذه الحنود على أحد أوجه المعدن عمودية على الحنود المائلة على الوجه المقابل له .

### ب - النظام الرباعي : Teragonal System

وتتميز بلورات هذه المجموعة بثلاثة محاور تصورية كذلك إلا أن اثنين منهما متساويتان في الطول والمحور الثالث قد يكون أطول أو أقصر من المحورين الآخرين ، ومن بين أمثلة ذلك بلورة الزركون .

### ج - النظام الثلاثي : Triagonal Systyem

وتمثله بلورة الكوراندوم .

#### د - النظام المعين : Orthorhombic System

لبلورات هذا النظام ثلاثة محاور تصويرية إلا أن كلا منهما يختلف عن الآخر من حيث الطول ، ومن بين أمثلة بلورات هذا النظام بلورة الكبريت .

#### هـ - النظام السداسي : Hexagonal System

ولبلورات هذا النظام أربعة محاور تصويرية . وتمثله بلورات الكوارتز والكلسيت

#### و - نظام الميل الواحد : Monoclinic

وتمثله بلورات معدن الأرتوكلاز Orthoclase ومعدن الجبس Gyp sum

#### ز - نظام الثلاثة ميول Trichinic System

ولبلورات غير متناسقة الشكل وتمثل هذا النظام بلورات الألبيت Albite

### التركييب والتجمعات البلورية

ليس من الضروري أن تكون جميع بلورات المعادن كاملة النمو ومتماثلة الأوجه ، ولكن كثيراً ما نجد بعض المعادن على شكل بلورات ناقصة النمو ، ومن ثم تتجاور هذه البلورات المعدنية الناقصة وتكون في مجموعها بعض التراكيب والتجمعات الخاصة التي تساعد على تمييزها (١) . ومن بين هذه التراكيب :

#### أ - التركيب الليفي : Fibrous

ويتكون من ألياف رفيعة تظهر كالخيوط المتجاورة كما هو الحال في معدن الأسبستوس وحبس ساتن سبار .

#### ب - التركيب العمداني : Columnar

ويتكون من أعمدة رأسية دقيقة متجاورة كما هو الحال في معدن الهورنبلند .

#### جـ - التركيب الصفائحي : Lamellar

ويتكون من تشوهر أو صفائح رقيقة السمك جدا كما هو الحال في معدن التلك ( أو الطلق ) Talc

#### ز - التركيب الحبيبي : Granular

ويتكون من تجمع حبيبات أشبه بالنسيج السكرى كما هو الحال في الرخام

ولمى بعض الأحياء الأخرى قد تتجمع البلورات الناقصة للمعدن على شكل تجمعات تظهرها بأشكال خارجية خاصة يمكن أن تساعد كذلك فى عمليات تمييز المعادن ومن بين هذه المجموعات المختلفة من التجمعات تلك المعروفة بالتجمعات العنقودية Botryoidal مثل معدن الدولوميت . والتجمعات الحلمية mammillar مثل معدن المالاكيت والتجمعات الشجرية Dendritic مثل معدن البيرولوسيت والتجمعات البطروحية (Xn) like مثل الحجر الجيري الأوليغى أو البطروحي وبعض ركازات الحديد والتجمعات السلكية أو العيطية Wiry or fibrous مثل معدن الفضة والتجمعات النجمية أو الإشعاعية Stellated مثل معدن الويفيلات . والتجمعات الرفلية (الاستلاكتينية) Stalactitic مثل البسلوميلين والتجمعات المرجانية (oralloidal) مثل معدن الأراجونيت (رغور الحديد) (١)

#### ٢ - اللون . Colour

من الصعب أن يتخذ لون المعدن كخاصية طبيعية يمكن الاعتماد عليها تماما عند تمييز مجموعات المعادن المختلفة ، ذلك لأن المعدن الواحد قد يظهر بعدة ألوان مختلفة تبعا لنوع الشوائب المختلفة فيه ، ومع ذلك فهناك بعض المعادن كثيرا ما تظهر بلون ثابت يميزها عن غيرها ومنها معدن البيريت Pyrite ذو اللون الأصفر النحاسى ، القليل التأثير بالشوائب

(١) «الجبرولوجيا الهندسية» د. فخري موسى وآخرون دار المعارف - القاهرة - ١٩٦٨ ص ١٦ .

، ومعدن النحاس الضام الذى يبدو دائماً أحمر اللون ، والفلسبار  
الارثوكلازى عادة أحمر اللون والأوليخين أخضر اللون . وبعض المعادن  
الأخرى مثل الكوارتز الصغرى Rock Quarzez والكلسيت Calcite تظهر  
عادة بيضاء اللون بل قد لا يكون لا لون لهما فى حالة نقاوتها التامة .  
وإذا اختلطت هذه المعادن الأخيرة بشوائب ما تكتسب فى هذه الحالة ألوان  
متعددة ، فهناك الكوارتز الأبيض اللبنى Milky quartz ، والكوارتز  
البنفسجى الذى يختلط فى أكسيد المنجنيز والكوارتز الأحمر -  
الكالسيدونى Chalcedony الذى يختلط فيه أكسيد الحديد ، والكوارتز  
الأخضر Green Quartz الذى تختلط معه بعض المواد الطينية . والكوارتز  
الوردى Rose quartz ويظهر معدن الهلاجيوكلاز بألوان مختلفة من بينها  
الألوان البهضاء والرمادية والورقاء . وكثيراً ما يجد معدن الكورندوم  
رمادى أو أحمر أو أزرق اللون (شكل ٣٦ ، ٣٧)

وقد يتأثر لون المعدن تبعاً لكمية الأشعة الضوئية التى يمتصها المعدن  
وتلك التى يعكسها عند سقوطها على سطحه . ومن المعروف أن المعادن  
ذات اللون الأبيض تسمح عادة بمرور جميع ألوان الطيف بنسب متساوية  
، أما المعادن السواء اللون فأنها تمتص جميع ألوان الطيف . فى حين أن  
المعادن الحمراء اللون تمتص جميع ألوان الطيف فيما عدا المجموعة التى  
ينتج عنها الاحساس باللون الأحمر .

وهناك بعض المعادن الأخرى تظهر بألوان متعددة إذا ما وجه إليها  
شعاع النظر من اتجاهات مختلفة ومن بينها معدن الفلورسبار fluorspar .  
فإذا نظر إلى هذا المعدن من اتجاهين مختلفتين يظهر المعدن بلونين  
مختلفين كذلك هما اللون الأخضر واللون البنفسجى . ومعدن  
التورمالين قد يكون أسود اللون تماماً عند فحصه فى اتجاه معين ، ثم  
يصبح لونه أخضر أو بنياً إذا ما وجه إليه شعاع النظر من اتجاه آخر .

### ٣ - البريق : Luster

لكل معدن درجة من البريق واللمعان قد تميزه عن غيره من المعادن  
الأخرى ، ويحدد طبيعة بريق المعدن ودرجة لمعانه مقدار الضوء المنعكس

من على سطح المعدن فهناك معادن تمتص الأشعة الضوئية ومن ثم يصبح بريق المعدن ضعيفا أو معتما ، ولا ينعكس من على سطح المعدن سوى نسبة محدودة جدا من الأشعة الضوئية ، في حين أن هناك بعض المعادن الأخرى تمتص نسبة محدودة من الأشعة الضوئية وتعكس القسم الأكبر من هذه الأشعة الساقطة على سطحها ومن ثم يكون بريق المعدن قويا أو شديدا .

وقد ميز علماء المعادن مجموعتين رئيسيتين من المعادن ذات بريق مختلف هما

#### البريق الفلزي Metallic

وهي هذه الحالة يشبه بريق المعدن بريق أسطح الفلزات المعدنية المنصولة ومن بين أمثلة ذلك بريق الجليينا Galena وكهريتور الرصاص ، وال نحاس والجرافيت

#### البريق اللافلزي Non-metallic

وهو بريق لا يشبه الفلزات المعدنية وله عدة أنماط مختلفة من بينها

##### ١ . البريق الماسي Adamantine

ويميز هذا البريق بعض المعادن الشفافة وخاصة معدن السيروسيت ( كبريتات الرصاص ) ، والاماس

##### ب . البريق الصمغي Resinous أو الدهني Greasy

ويظهر بريق المعدن وكأنه مغطى بطبقة رقيقة السمك شبه لزجة تشبه الصمغ أو الدهن ومنها أسطح معدن الكبريت .

##### ج . البريق الزجاجي Vitreous :

يبدو بريق المعدن في هذه الحالة وكأنه بريق سطح الزجاج ، ويظهر ذلك في بعض المعادن الشفافة مثل الكالسيت والكوارتز والهاليت ، كما يظهر البريق الزجاجي في معادن الالبتيت والبلاجيوكلاز والأورتوكلاز والأوليف والتوتار والكوردم -

د - البريق اللؤلؤى : Pearly

ومن أمثله بريق معدن الطلق Talc والمليكا Mica والجبس (السلانيت)

هـ - البريق الحريري : Silky

ويظهر بوجه خاص فى المعادن الليفية النسيج ومنها الاسبستوس Asbestos والجبس الليفى .

٤ - المخدش : Streak

يلاحظ بأن بعض المعادن عند خدشها بمبراة قد يظهر مسحوقها بلون يختلف تماما عن لون السطح الخارجى للمعدن . وعلى سبيل المثال نجد أن معدن الأبتيت بنى أو أخضر اللون ، والكوارتز لا لون له فى حالة نقاوته ، والأوليفين أخضر اللون والكوردنم رمادى اللون وقد يكون أحمر أو أزرق اللون ، إلا أن مخدش هذه المعادن جميعا يكون أبيض اللون . ومن النادر أن يكون لون سطح المعدن مماثلا تماما للون مخدشة ، وتتمثل هذه الحالة الأخيرة فى معادن النحاس الخام والطلق والجرافيت . وعند خدش المعدن يحسن خدش منطقة واسعة نسبيا من سطحه حتى يحصل الباهت على نتائج صحيحة عن اللون الحقيقى لمسحوق المعدن

٥ - الصلابة : Hardness

يقصد بدرجة صلابة المعدن مدى مقاومة المعدن لفعل التحلل والتفكك والخدش وتشكل صلابة المعدن تبعا للترتيب الداخلى للذرات التى يتألف منها المعدن . وقد اتفق علماء المعادن على استخدام مقياس (موصى) لقياس صلابة المعادن Moss scale of hardness وفى هذا المقياس تم اختيار عشرة معادن ووضع لكل منها رقما ، وترتب المعادن تبعا لاختلاف درجة الصلابة ترتيبا متناظيا بحيث يكون أقل المعادن صلابة يرمز إليه بالرقم ١ ، وأشدها صلابة يرمز إليه بالرقم ١٠ وتتمثل هذه القائمة من المعادن فيما يلى :

درجة الصلابة	المعدن	ملاحظات
١	الطابق	يخدش بالظفر
٢	الجبس	يخدش بالظفر
٣	الكلسيت	يخدش بالمبراة
٤	الفلورسبار <sup>(١)</sup>	يخدش بالمبراة
٥	الابستيت	يخدش بالمبراة
٦	الارثوكلاز	يخدش بالمبراة
٧	الكوارتز	لا تؤثر فيها المبراة
٨	النوبار	لا تؤثر فيها المبراة
٩	الكورندوم	لا تؤثر فيها المبراة
١٠	الماس	لا تؤثر فيها المبراة

وعلم لك فالمعدن الذي يقاوم الخدش يكون شديد الصلابة والمعدن الذي يخدش . الآخر إذ حك على سطحه يعتبر أصعب من المعدن المخدوش وعلى ذلك يمكن أن نحدد درجة صلابة أى معدن عندما نخدشه بالظفر أو بمسماح حديدي أو بالمبراة أو يخدش المعدن بفهره من المعادن التي تتشابه معه فى درجة الصلابة لتحديد مركزه فى مقياس موهس . وعلى سبيل المثال يلاحظ أن معدن البيريت يخدش الفلورسبار الارثوكلازى (٦) إلا أنه يخدش بالكوارتز (٧) وعلى ذلك فإن درجة صلابته تقع بين هذين المعدنين وتقدر بنحو ٦,٥ . أما معدن البيوتيت تساوى ٢,٥ ، وأما الدولوميت فإنه يخدش معدن الكلسيت ، فى حين يخدش بالفلورسبار وعلى ذلك فصلابته نحو ٣,٥ وهلم جرا .

(١) الفلورسبار : فلورود الكالسيوم

## ٦ . التشقق : Cleavage

عندما تتعرض أسطح بعض المعادن للضغط الشديد أو للكسر ، فقد ينجم عن ذلك تشقق أسطح المعادن في نظم مختلفة . ويتأثر نظام تشقق المعدن وفقاً لطبيعة التركيب الداخلي لذرات العناصر المكونة للمعدن . وكثيراً ما تظهر اتجاهات تشقق المعدن على طول مناطق الضعف بين ذرات المكونة له . وفي هذه الحالة تتميز أسطح المعدن بمستويات محددة من التشقق  
Planes of Cleavages

وتختلف درجة التشقق من معدن إلى آخر فقد يكون التشقق غير واضح (Obscure) كما هو الحال بالنسبة للكوبالتم والكاولين أو جيد (Good) مثل معدن الجبس . أو تام (Perfect) مثل الطلق والجراميت والتوبار . وإذا كان التشقق في المعدن مميراً بسهولة فيعرف التشقق في هذه الحالة بأنه تام جداً (Highly Perfect) ومن بين أمثلة ذلك معدن الميكا Mica الذي يتشقق على شكل صفائح رقيقة السمك جداً في مناطق الضعف الذي البلوري

وهناك مجموعة من المعادن الأخرى تتشقق في اتجاهين متعامدين مثل الهورنبلند والبلاجيوكلاز . ويحرق تشقق في اتجاهات موازية لوجوه المعين ومنها الكلسيت ويعرف التشقق في هذه الحالة باسم التشقق للمعنى Rhombohedral Cleavage وهناك نمط آخر من التشقق ذو الثماني أوجه Octahedral Cleavage مثل الفلوريت والاماس

وفي المعادن التي لها أكثر من اتجاه للتشقق تقاس عادة الزاوية المحصورة بين إتجاهي التشقق وتعرف بزاوية التشقق - Angles of Cleavage وعلى سبيل المثال تبلغ هذه الزاوية في معدن الهورنبلند نحو ٥٦° ونحو ١٢٤° ، في حين تبلغ هذه الزاوية ٩٠° في معدن الأورثوكلاز والبلاجيوكلاز .

#### ٧ . المكسر : Fracture

يلاحظ أن أسطح بعض المعادن لا تتميز بظاهرة التشقق ولكن عندما تنكسر أجزاء منها فإن السطح « للمكسر » يتشكل بحدود خاصة يطلق عليها تعبير مكسر المعدن . وقد يكون سطح المعدن بعد كسره إما مستويا أو مقعرا أو محدبا أو منتظما السطح . إما شكل المكسر فقد يكون هو الآخر مستويا even مثل مكسر الكالسيت أو غير مستوي Uneven مثل مكسر معادن الطلق والجرافيت والابتيث والهلاجيوكلاز والتوباز والكورنسيوم . وقد يكون مكسر المعدن خشنا أو خشبيا Hackly or Rough مثل معدن النحاس أو شظييا Splintery مثل مكسر الجبس ( السيلينيت ) ، وقد يكون محاريا Conchoidal مثل مكسر معادن الكوارتز والأوليفين والالمس (أنظر شكل ٢٤) ومن أجعل أمثلة المكسر المحاري ما يحدث في معدن الكوارتز عند كسره حيث يظهر كسره على شكل خطوط مقوسة متوازية أشبه بالمحار أو الزجاج السميك عند كسره .

وهناك بعض المعادن الأخرى تتميز أسطحها بأن لها حدود وخدوش خيطية رفيعة متوازية . وتعرف هذه الخدوش باسم الخدوش الخيطية -Stria- tion وتلاحظ مثل هذه الخدوش فوق أسطح بلورات الكوارتز والبيريت ( أنظر شكل ٣٧ ) . وإن دلت هذه الخدوش على شيء فإلما تدل على نظام الترتيب الذري الداخلي لعناصر بلورات المعدن .

#### ٨ . الثقل النوعي : Specific Gravity

تتميز الذرات المكونة لبعض المعادن بزيادة ثقلها ووزنها في حين أن بعضها الآخر قليل الوزن ، كما تختلف المسافة الفاصلة بين كل ذرة وأخرى داخل معدن ما عنها في معدن آخر . ولم يتضح بأن هناك معادن ثقيلة وأخرى خفيفة الوزن . وقد تصانف قطعتين من معدنين مختلفين متساويين في الحجم إلا أنهما قد يختلفان من حيث الثقل النوعي ، كما هو الحال بالنسبة لقطعتين من الحديد ( ثقل النوعي ٧,٥ ) والكبريت ( ثقل النوعي ٢ ) . واختلاف الثقل النوعي في عينات الصخر قد يرجع

الى اختلاف التركيب المعدنى للصخر ، أو الى كثرة الفراغات التى قد تتمثل فى الصخر ووجود بعض الغازات المحبوسة داخل الصخر كما هو الحال بالنسبة لصخر الخفاف Pumic Rock .

ويحدد الثقل النوعى لأى مادة على أنه النسبة بين وزن حجم معين من هذه المادة ومقارنته بحجم مساو له من الماء المقطر عند درجة حرارة ٤ م . وعلى هذا الأساس يكون الثقل النوعى للماء يساوى ١ ، وعندما يكون الثقل النوعى بين معدنين مختلفين واضحا ومحسوسا فيمكن أن يحدد هذا الفرق النسبى باستخدام راحة اليد وحدهما ، وإذا كان هذا الفرق بسيطا فيستعمل فى هذه الحالة موازين خاصة لتحديد الثقل النوعى للمعدن ، مثل ميزان وكر Walker's ، وميزان جولى Jolly's Spring balance ، وباستخدام ماسورة الثقل النوعى أو البكنومتر Pycnometer وقد تحسب كذلك قيمة الثقل النوعى لعينات الصخر بالمعادلة الآتية :  $\frac{W_1 - W_2}{W_1}$  حيث إن :

١ = وزن عينة الصخر بعد تجفيفها لمدة ٢٤ ساعة فى فرن حرارته ١٠٠ م .

٢ = وزن عينة الصخر بعد وضعها فى ماء لمدة ٤٨ ساعة وتشبعها بالماء تماما .

٣ = وزن عينة الصخر وهى مشبعة بالماء ومعلقة فيه .

ويطلق على النسبة بين حجم الفراغات الموجودة فى الصخر والحجم الكلى للعينة باسم النسبة المئوية لمسامية ، وعلى ذلك فإن هذه النسبة الأخيرة تتمثل فى المعادلة الآتية :

$$M = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100$$

حيث إن م = النسبة المئوية لمسامية الصخر

٢ = وزن عينة الصخر وهى مشبعة بالماء

١ = وزن عينة الصخر وهى جافة

ح = الحجم الكلى لعينة الصخر .

وقد تبين بأن أغلب المعادن يتراوح ثقلها النوعى من ٢,٢ الى ٥ ، وأن متوسط الثقل النوعى للمعادن التى تدخل أساسا فى التركيب الصخرى لقشرة الأرض يبلغ نحو ٢,٧٠ . وعلى أساس اختلاف الثقل النوعى للمعادن أمكن تصنيف طبقات الكرة الأرضية الى طبقات صخرية ونطاقات معدنية مختلفة . وقد تبين أن متوسط الثقل النوعى للطبقات الصخرية العليا التى تتألف منها قشرة الأرض يبلغ نحو ٢,٨٠ فى حين يزيد متوسط الثقل النوعى للمواد التى يتألف منها جوف الأرض عن ٨ . ومعنى ذلك أن قشرة الأرض تتألف من مواد خفيفة الوزن فى حين تتجمع المواد الثقيلة الوزن فى جوف الأرض .

وبمعرفة الثقل النوعى للمعادن يمكن أن تميز المعادن تمييزا مباشرا . وعلى سبيل المثال نلاحظ بأن معدن الكلسيت ومعدن البيريت يتشابهان فى كثير من الخصائص الطبيعية ، ولكنهما يختلفان اختلافا كبيرا من حيث الثقل النوعى لكل منهما . فبينما يبلغ الثقل النوعى للكلسيت ٢,٢ نجده فى البيريت ٢,٥ . ومن ثم يمكن للندارس تمييز هذين المعدنين مباشرة بعد حملهما على راحة اليد ومقارنة كل منهما بالآخر من حيث الثقل النوعى الخاص بهما .

#### ٩ - درجة الشفافية : Degree of Transparency

لا تتأثر درجة شفافية المعدن باختلاف سمك المعدن بل على مقدار الاشعة الضوئية التى تنفذ خلال ذرات المعدن . وعلى هذا الأساس ميز الباحثون بين المعادن العمالية الشفافية Perfectly transparent والتى تنفذ خلالها الاشعة الضوئية ولا تعجب عن العين المجردة ما يقع خلفها ، ومن بينهما الكوارتز النقى والايسلندسبار Icelandspar ، وبين المعادن شبه الشفافة أو نصف الشفافة Translucent ومنها الأوبال والجبس ، وأخرى معادن معتمة Opaque لا ينفذ الضوء خلالها .

الى جانب هذه الخواص الطبيعية الاساسية للمعادن ، قد تتميز بعض المعادن بخواص طبيعية ثانوية يمكن أن تلخص بعضها فيما يلى :

#### أ - قوة المغناطيسية Magnetism

حيث تتميز بعض المعادن بزيادة قوتها المغناطيسية وأخرى لا تملك هذه الخاصية . ويلاحظ أن المعادن الأعلى مغناطيسية تجذب إليها بعض المعادن الأخرى الأقل مغناطيسية إذا ما وقعت تحت تأثير مجالها المغناطيسي . ومن بين المواد المغنطة التي عرفها الإنسان الحجر المغناطيسي Lodestone ومعدن الماجنيتيت Magnetite .

#### ب - المذاق : Tast

يلاحظ أن بعض المعادن التي تذوب في الماء لها مذاقا خاصا قد يميزها عن غيرها من المعادن الأخرى . ومن بين أمثلة ذلك معدن الهاليت Halite (الصخر الملحي) والملح العادي .

#### ج - إدراك المعدن : Feel Of minerals

يمكن أن يدرك الفاحص نوع المعدن وذلك بمشاهدة السطح الخارجي للمعدن سواء أكان هذا السطح خشنا Rough-Looking أو ناعما Soapy .

#### د - الرائحة : Odour

بعض المعادن تتميز برائحة خاصة كما هو الحال بالنسبة للمعادن المكونة للصلصال . وعندما يعتاد الفاحص على رائحة المعادن وهي في حالتها الأولية يمكن له أن يتعرف عليها بسهولة .

#### هـ - ليونة ومرونة المعدن : Flexibility and Elasticity

معظم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض غير مرنة ، ولكن هناك بعض المعادن تتميز بمرونتها وأخرى بليونتها وبعضها الآخر قد تتميز بكونها مرنة ولينة معا . فإذا أمكن إعادة المعدن إلى شكله الأول بعد ثنيه وفي نفس الوقت يمكن ثني المعدن ليأخذ أشكالا متعددة فيعرف المعدن في هذه الحالة بأنه مرنا Elastic ومن بين أمثلة ذلك البيوتيت ( الميكا السوداء Biotite ) والمسكوفيت ( الميكا البهضاء Muscovite ) .

وفي حالة إذا كان المعدن قابلا للثني والانحناء دون أن ينكسر ، ولكن من الصعب أرجاعه إلى شكله الأصلي فيصبح المعدن ليناً Flexible إلا أنه غير مرن ، ومن بين أمثلة ذلك الكلوريت Chlorite والسليينيت Selenite .

المعدن	رمزه الكيميائي	درجة الصلابة	اللون	البريق	المخشن
الطلق	HMgSiON	١	أبيض - مخضر قليل	لؤلؤي	أبيض
الجرانيت	G	١	أسود - رمادي	لؤلؤي - معتم	أسود
السيليس	CaSO <sub>2</sub> 2HO	٢	عامة لا لون له	لؤلؤي	أبيض
الكوارتز	HALSi On	٢	أبيض - رمادي	معتم	أبيض
النحاس	Cu	٣	أحمر نحاسي	لؤلؤي	أبيض
الكالسيت	Ca Co <sub>3</sub>	٣	لا لون له - مظل	ناعم	أحمر نحاسي
الفلوريت	Ca F <sub>2</sub>	٤	أصفر - أخضر	ناعم	أبيض
الابنت	Ca FPO	٥	بني - أخضر	ناعم	أبيض
المكهرب كالز	NaCaALSiO	٦	أبيض - رمادي - أرق	ناعم	أبيض
الأورثكالز	KALSiO <sub>2</sub>	٦	عامة أحمر	ناعم	أبيض
الكوارتز	Si O <sub>2</sub>	٧	لا لون له	ناعم	أبيض
الاوليفين	Fe Mg SiO	٧	أخضر	ناعم	أبيض
الفتريز	ALFSiO	٨	أبيض مظل	ناعم	أبيض
الكورندوم	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	٨	رمادي - أحمر - أرق	ناعم	أبيض
الالاس	C	١٠	لا لون له وأحياناً أسود	ملس	أبيض

رمزه الكيميائي	المكسر	الثل النوعي	المخبرش
تام	غير مستوى	٢,٧	لين - دهني للملمس
تام	غير مستوى	٢,٢	لين - دهني للملمس - يفرغ لمر على الجرد
تام - متوسط	شظي	٢,٣	لين - شفاف
غير واضح	غير مستوى	٢,٦	له رائحة قشرية الارضية - لعمى للملمس
لا يتشقق	خشن	٢,٨	قابل للطرق والسحب
تشقق محبى	مستوى	٢,٧	له خاصية الاندراج لكسار الاشعة
تشقق ثمانى	مستوى	٣,٢	يتوهج بضوء - بلورات مكعبة
لا يتشقق	غير مستوى	٣,٢	بلورات سداسية الجوانب
محرى ان للصلب يتفكك في ذرية قلوية	غير مستوى	٢,٧	بلورات مستطيلة زرقاء غامقة ترابية
مستقران للتشقق في ذرية قلوية	غير مستوى	٢,٦	بلورات كبيرة
لا يتشقق	محرى	٢,٧	بلورات زرقاء مائلة للاحمر - شفاف - سداسي
ضعيف التشقق	محرى	٣,٣	يحدث في كتل محبة الشكل
تام	غير مسنى	٣,٥	شفاف - نصف شفاف
عادة غير واضح التشقق	غير مستوى	٤,٠	يكثر فيه بلورات ذات طلة ارجع
تشقق ثمانى	محرى	٣,٥	يحدث لحياتنا على شكل بلورات مربعة

## و- قابلية الطرق Malleability

يطلق على المعادن التي يمكن أن تتشكل بضربات المطرقة اسم المعادن القابلة للطرق malleable ومن بينها الذهب والنحاس أما المعادن الأخرى التي تنكسر تحت ضربات المطرقة فهي معادن غير قابلة الطرق .

## ز- قابلية السحب أو الممتطوية Ductility

بعض المعادن قابلة للمسحب ويمكن تحويلها الى أسلاك رفيعة جدا كما هو الحال بالنسبة للنحاس والفضة في حالتيهما الأصلية في حين أن هناك معادن أخرى غير قابلة للمسحب أو للمط .

ويجب أن نشير في هذا المجال بأنه من الصعب أن نميز معدن ما على أساس خاصية واحدة أو خاصيتين من خواص المعدن الطبيعية . بل لا بد وأن نتعرف على المعدن بعد تحديد عدة خصائص طبيعية مختلفة حتى يمكن بعدها أن نحدده ونميزه عن غيره من المعادن الأخرى . وعلى ذلك فقد يصانف الباحث معدنين متشابهين في بعض خصائصهما الطبيعية وعليه أن يتعرف على بقية خصائصهما الطبيعية حتى يمكن له أن يميز كل معدن عن الآخر . ويوضع الجدول الآتي بيان بعض المعادن الهامة مرتبة بحسب اختلاف درجة صلابتها وموقعها في مقياس موهن للصلاية ، وخصائصها الطبيعية الرئيسية التي تميز كل معدن عن معدن آخر .

## أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض

### Rock - Forming Minerals

على الرغم من أن عدد المعادن المعروفة في الوقت الحاضر يزيد على ثلاثة آلاف معدن ، إلا أن أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض محدودة جدا ومن بينها الكوارتز والكلسيت وأكاسيد الحديد والجبس والملح والفلسبار والميكا والهورتبلند والأوجيت والأوليفين . وعلى سبيل المثال تتمثل نسبة معدن الكوارتز بنحو ٧٠٪ في الصخور الرملية و ٢١٪ في الجرانيت و ٣٢٪ في الصخور الصلصالية . أما معدن الفلسبار فيتمثل بنسبة ٥٢٪ في الجرانيت و ٤٦٪ في البازلت و ١٧,٦٪ في الصخور

الصلصالية . وقد يتمثل الكالسيت بنسبة تبلغ نحو ٩٣٪ في الصخور الجيرية . ويوضح الجدول الآتي النسب المئوية التقريبية لبعض المعادن الرئيسية في مجموعات صخور قشرة الأرض .

المعادن	الصخور النارية		الصخور الرسوبية		
	الجرانيت	البلزالت	قصر الباز	الصلصال	صخرية
الكوارتز	٣١,٣٪	—٪	٦٩,٨٪	٣١,٩٪	٢,٧٪
الفلسبار	٥٢,٢	٤٦,٢	٨,٤	١٧,٦	٢,٢
المليكا	١١,٥	—	١,٢	١٨,٤	—
معادن الصلصال	—	—	٦,٩	١٠,٠	١,٠
الكلوريت	—	—	١,١	٦,٤	—
الهورنبلند	٢,٤	—	—	—	—
الأوجيت	نادر	٣٦,٩	—	—	—
الأوليفين	—	٧,٦	—	—	—
الكالسيت والدولوميت	—	—	١٠,٦	٧,٩	٩٢,٨
خام الحديد	٢,٠	٦,٥	١,٧	٥,٤	٠,١
معادن أخرى	٠,٥	٢,٨	٠,٣	٢,٤	٠,٣

ويذكر الأستاذ ليت L. Don Leet <sup>(١)</sup> بأن نحو ٩٠٪ من أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض تتألف من مجموعة السليكات ، وما الأخيرة إلا اتحاد كل من السليكون والأكسجين مع معدن فلزي أو أكثر . ومن بين أهم معادن السليكات الأوليفين والأوجيت ، والهورنبلند ، والبيوتيت ، والمسكوفيت ، والفلسبار والكوارتز . وعلى أساس اختلاف التركيب

(1) Don Leet L., and Judson S., "Physical geology ". Prentice Hall. (1965). P.36.

الكيميائي للمعادن وخواصها الطبيعية يمكن تصنيف المعادن إلى ثمان مجموعات رئيسة تتلخص في الجدول الآتي :

مجموعات المعادن	أهم أنواعها	خصائصها
المعادن العنصرية	فلزية - لمب - لفئة معادن لا فلزية - هالوجينات - كبريت	نادرة الوجود في الصخور - تمزج نشأتها إلى شاهر الصهير الباطني ولأثر التفاعلات الكيميائية والضغط الشديد
المعادن الكبريتيدية	بيريت - حديد - سفيديت	قليلة الوجود في الصخور تتلخص من عناصر مثل النحاس والفضة والرصاص والزنك معقدة مع الكبريت
الهالوجينات	هاليد الملح الصخري سلفيد فلوريت	قليلة الوجود في الصخور وبعدها الكبريتات تتربصت معه من محاليل مائية تكثر فيها لمعادن الهاليد
المعادن الأكسيدية والأيدوكسيدية	أكسيدية الكوارتز - الطين كلبيدوس كورونوم هيماتيت - هيركسيت ليمونيت - أوليف	عناصر مختلفة معقدة مع الأكسجين ولماء - شائعة الوجود في الصخور
الكربونات	كالسيد - أرنجيت مغنيسيت - بوميت سبيديت - مالاكيت	تتلف من أملاح حامض الكربونيك وتكثر بسبب وجودها في الصخور
الكبريتات	الجبس - انهدرايت	من أهم المعادن المكونة للصخور الرسوبية الكيميائية - تتلخص من أملاح حامض الكبريتيك
الفوسفات	أباتيت	تتكون كيميائياً من الفلوريد وكلوريد الكالسيوم وأحياناً نتيجة لعمليات التحول الصخري
السليكات	أوليفين - أوجيت - مورتيلاند ميكا - سيريتون - كوارتز أورثوكلاز - بلاجيوكلاز	عبارة عن ثاني أكسيد السليكون متصفاً مع فلزات مختلفة - تعتبر من أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض وأكثرها انتشاراً وتؤلف نحو ٨٠ - ٩٠ % من جملة وزن قشرة الأرض

## نماذج لبعض المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض

الذهب : Gold

من مجموعة المعادن المنصورية الفلزية ، وعلى الرغم من ندرة وجوده في الصخور إلا أنه تبعاً لشيوع استعماله في الزينة وصعوبة الحصول عليه ، أصبح من المعادن الثمينة المهمة في العالم . وقد عرفه الإنسان منذ القدم - وخاصة في مصر القديمة - واستغله في أغراض متعددة وبوجه خاص أغراض الزينة . ويتألف هذا المعدن من عنصر الذهب ، وكثيراً ما يوجد ممتزجاً مع الفضة أو النحاس ويعروق الكوارتز والكلسيت أو مختلطاً بالرمال والحصى عندما يعقل بواسطة عوامل النقل المختلفة ويتجمع في بطون الأودية النهرية

ويظهر الذهب على شكل بلورات مكعبة أحياناً وفي شكل حيوط وكتل غير ظاهرة التبلور أحياناً أخرى . وتبلغ صلابته ٢ وثقله النوعي ١٩ وهو قابل للطرق والسحب . ولونه أصفر ويصهر بالحرارة بسرعة ولا تؤثر فيه معظم الأحماض

جالينا . Galena

معدن من مجموعة المعادن الكبريتيدية ويتألف أساساً من كبريتيد الرصاص ويختلط به في بعض الأحيان مع خام الفضة ، ويتميز لون المعدن الخام بالرصاصي الرمادي وبريقه معتم ، وعند خدش سطحه يبدو الخام في معظم الأحيان أبيض اللون ، وليس له شقوق على سطحه ، وبلوراته غالباً مكعبة النظام وصلابته ٢,٥ ومكسره غير مستوى ، ومن أهم خواصه الطبيعية أنه هش وقابل للكسر Brittle كما أنه ثقيل الوزن . ويمكن أدراك ذلك بسهولة عند حمل قطعة من هذا المعدن على راحة اليد إذ يبلغ ثقله النوعي ٧,٥ .

### الهاليت : الملح الصخري . Halite or Rock-Salt

من مجموعة الهالوجينات ، ويتركب كيميائيا من كلوريد الصوديوم ، ويتبلور في مكعبات تتشقق أسطحها بسهولة في قشور موازية للمكعب.. إلا أن الملح الصخري قد يوجد في الطبيعة على شكل كتل والياف غير ظاهرة التبلور ، وتبلغ درجة صلابته ٢,٥ ، وكثيرا ما يكون عديم اللون إلا أنه أحيانا يكون رمادي اللون وفي أحيان أخرى قد يظهر أحمر أو أزرق اللون تبعا لنوع المواد الشائبة فيه وهنا يعرف معدن الهاليت بأسماء متعددة منها الهاليت الأحمر الباهت اللون Sylvine والأزرق والأحمر المفلكن Carisallite والوردي الفاتح اللون Cryolite . وهريق المعدن زجاجي ، وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون ، ومكسره غير مستوي وثقله النوعي ٢,٥ ويميزه مذاقه المالح<sup>(١)</sup>.

وقد يظهر الملح الصخري على سطح الأرض بعد تبخر مياه البحار الضحلة والمستنقعات البحرية Lagoons . كما قد يستخرج الملح من ليلاه الجوفية الملحية التي تنبثق من باطن الأرض ، كما قد يتجمع الملح الصخري على شكل قباب ملحية Salt domes وخاصة في مناطق حقول البترول كما هو الحال في جنوب تكساس وإيران

### الكوارتز : Quartz

أحد مجموعة المعادن الأكسيدية ويتركب من ثاني أكسيد السليكون ، ويعرفه العرب باسم المرو . والكوارتز النقي لا لون له ، وشفاف أو نصف شفاف ودرجة صلابته ٧ . وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون وهريقه زجاجي وليس به شقوق وإن كان يتمثل فوق الأوجه الرئيسية للبلورات حذوة خطية متوازية . ومكسره محاري وثقله النوعي ٢,٧ وكثيرا ما يظهر الكوارتز على شكل بلورات سداسية الأوجه . (شكل ٣٦)

(1) a - Pellant, c., "Rocks, minerals ... of the world" Pan Books, London (1990) P.75

(ب) حسن صابق « الجيولوجيا » القاهرة ١٩٢٩ .



( شكل ٣٦ ) بلورات الكوارتز السماسية الأوجه لاجه شفافه الروابا المحصورة بين الأوجه البلورية مهما اختلف حجم البلورات ووجود الحدود العنقبة الفوارية على الوجه الرئيسى للبلورة

وعندما يمزج الكوارتز ببعض الشوائب المختلفة يغير لونه ويك  
لا يؤدي ذلك الى تغيير التركيب البلورى للمعدن . ومن ثم يمكن ان يميز  
الكوارتز البنفسجى لوان ( يكثر فيه اكسيد المنجيز ) والمعروف باسم  
الجمشت Amethyst والكوارتز الأحمر أو الأصفر Citrine نتيجة لاختلاطه  
بأكسيد الحديد ويعرف باسم العقيق Agate والكوارتز الأخضر اللون  
Green Q نتيجة لاختلاطه بمواد طينية ويعرف باسم اليشب الأخضر Jas-  
per هذا الى جانب الكوارتز للنخن Smoke quartz والكوارتز الوردى Rose  
quartz والكوارتز اللبنى Milky quartz . والكوارتز الأبيض والمعروف  
باسم الكالسيدونى أو العقيق الأبيض Chalcedony ( شكل ٣٩ ) والكوارتز  
البنى Cairngorm

ويوجد الكوارتز في الصخور النارية وخاصة في صخور الجرانيت حيث تبلغ نسبته فيها نحو ٣١ ٪ من جملة وزنها ويعزى تكوينه في هذه الصخور الأخيرة الى عمليات تمايز الصهير . كما قد يتكون الكوارتز في مجموعات الصخور الرسوبية بعد تبخر المياه المعدنية التي كانت منحبسة في الصخر والتي كانت تحتوي على نسبة عالية من ثاني اكسيد السليكون .

ويشيع وجود الكوارتز في الرمال . وما الأخيرة في الواقع إلا عبارة عن حبيبات الكوارتز بعد تفتيت الصخور الذي كان ممثلا فيها بفعل عوامل التعرية والتجوية . وتقدر نسبة الكوارتز في الصخور الرملية بنحو ٦٩ ٪ / وفي الصخور الصلصالية بنحو ٢١ ٪ / وفي الصخور الجيرية بنحو ٣ ٪

#### الكالسيت (Calcite)

وهو أحد معادن مجموعة الكربونات ومن ثم فإنه يتרכب كيميائيا من كربونات الكالسيوم وينبلور معن الكالسيت في أشكال مختلفة ينتمي جميعها لنظام البلورات السداسية الأوجه والتي تظهر في شكل المعين Rhombohedron كما قد يظهر الكالسيت على شكل تراكيب حبيبية Granula أو ليفية Fibrous وكثيرا ما تشاهد أعمدة الكالسيت الصاعدة والنازلة في الكهوف الجيرية

ومن أهم خواص الكالسيت أنه يكسر لشعة "خضوع كسرا مزدوجا" (١)

(١) عندما تسقط الأشعة الضوئية على سطح المعدن فإن سرعتها إذا ما دخلت داخل المعدن تبلغ نصف ما كانت عليه في الهواء كما أنها قد تغير مساراتها الأصلية ويتناسب مقدار الانكسار تنسبا طرديا مع النسبة بين سرعة الضوء في الهواء وسرعة في المعدن . فإذا كان معامل الانكسار لمعدن ما يعادل ١,٥ فإن الضوء الماء ينقذ خلاله بسرعة تعادل نصف سرعتها في الهواء . وقد تبين أن لكل معدن معامل انكسار يمكن أن يساعد على تمييزه وعلى سبيل المثال تبين أن معامل انكسار الفلورسبار = ١,٤٢ والكوارتز = ١,٥٤ والماس = ٢,٤٢ . وإذا كان الماس يتميز بقدرته على فصل الألوان المكونة للضوء الأبيض فإن معدن الكالسيت أهم ما يميزه الانكسار المزدوج للأشعة الضوئية .

double-refraction ، أو بمعنى آخر إذا وضعت بلورة من الكالسيت فوق قطعة من الورق مرسوما عليها شكل ما ، فإن الملاحظ يشاهد المرسوم مزبوجا إذا ما نظر خلال بلورة الكالسيت ، ويتفاعل الكالسيت مع الأحماض وخاصة حامض الايدروكلوريك وينبعث منه في هذه الحالة غاز ثاني أكسيد الكربون ، ومن ثم يتبقى منه ثاني أكسيد الكالسيوم وهو المعروف « بالجير الحي » Burnt Lime . وإذا أضيف الماء إلى الجير الحي يمتص الأخير ثاني أكسيد الكربون من الجو وينجم عن ذلك تصلبه وشدة تماسكه ويعرف الجير في هذه الحالة باسم الجير المطفى Slaked Lime

ومن الخصائص الطبيعية الأخرى للكالسيت أنه عديم اللون خاصة في حالة نقاوته وبريقه زجاجي وعند خدشه يظهر مسحوقه أبيض اللون وتتشقق أوجه الكالسيت على شكل أوجه المعين ومكسره مستوى ودرجة صلابته ٣ وثقله النوعي ٢.٧ . وإذا تعرض الكالسيت للضغط أو للحرارة أو لكليهما معا يتحول إلى الدولوميت ويحتفظ الأخير بمعظم خواص الكالسيت الطبيعية إلا أنه يصبح أشد صلابة منه ويفقد خاصية انزواج الأشعة (١) .

ويتكون الكالسيت في الصخور الرسوبية ، حيث يترسب فوق السطح مع للمياه الجارية . بل ومع للمياه الجوفية في المغارات والكهوف كما قد يترسب الكالسيت بعد تبخر مياه الينابيع والنافورات الحارة الجيرية وتظهر في هذه الحالة على شكل جسور ومصاطب جيرية وتلال جيرية متميزة . ويكون الكالسيت والدولوميت معا نحو ١٠,٦ / من وزن الصخور الرملية ونحو ٧,٩٪ من وزن الصخور الصلصالية ونحو ٩٢٪ من وزن الصخور الجيرية .

#### الجبس : Gypsum

أحد مجموعة الكبريتات ، ومن ثم فإنه يتركب كيميائيا من كبريتات الكالسيوم مع الماء . ويتبلور الجبس في بلورات واضحة تابعة لنظام أحادي

(1) Holmes, C. D., College Geology, N. Y. (1962) P.459.

الميل ، وأحيانا تظهر للجبس بلورات توامية تشبه رأس الرمح . ويمكن أن تميز أنواع ثانوية من الجبس مثل السيلينيت Selenite وهو عديم اللون ويريقه للؤلؤ ومخدش مسحوقه أبيض وبه مستويان للتشقق ومكسره شظيى وهو شفاف ولين وصلابته ٢ . والأكبستر ويعرف فى مصر باسم المرمر المصرى Egyptian Alabaster وعرقه الفراغة واستخدم هذا المعدن فى صنع أدوات الزينة وبعض التماثيل والأعمدة الفرعونية . وتستغل محاجر حاليًا فى وادى ستور بالقرب من بنى سويف . ويتميز المرمر بلونه الأبيض ويريقه للؤلؤ ومخدشه الأبيض ، ويتشققه التام ، وبمكسره غير المستوى وياندماج كتلته وتبلغ درجة صلابته ٢ . وهناك نوع آخر من الجبس يعرف باسم ساتنسبار Satinspar وهو الجبس الأطلسى ومن أهم مميزاته تركيبه اللينى النقي .

ويذوب الجبس فى حامض الأيدروكلوريك بعد تسخينه ويستخرج منه المصيص ، وذلك عند تسخين الجبس فى أفران تبلغ درجة حرارتها ١٠٠ م . ويستخدم الجبس فى صناعات متعددة كطلاء الأبنية و الأسمنت والأسمدة ويدخل فى بعض الصناعات الكيماوية .

#### الأباتيت : Apatite

أحد مجموعة معادن الفوسفات وأكثر معادن هذه المجموعة انتشارا ويتركب كيميائيا من فلوريد أو ايدروكسيد الكالسيوم . ويتميز الأباتيت بألوانه البنية الخضراء والبضاء ويريقه زجاجى ، ومخدشه أبيض وعديم التشقق ومكسره غير مستوى وثقله النوعى ٢,٢ وصلابته ٥ وتتخذ بلوراته أشكال المنشور السداسى (١) .

ويعتبر هذا المعدن من أهم المواد التى تدخل فى صناعة الأسمدة ويستغل من مناطق متفرقة فى مصر ومن أهمها فى الوقت الحاضر منطقة السباعية .

(1) a- Pellant, c. " Roks, Minerals ... of the world" PAN Books, London (1990)

b- Holmes, C. D., College Geology, N. Y. (1962) P.454.

### الأوليفين : Olivine

أحد مجموعة معادن السليكات ، ومن ثم فإنه يتركب كيميائياً من سليكات المنجنيز مع الحديد . وقد اكتسب هذا المعدن اسمه تبعاً للون الأخضر الزيتوني ، ومن ثم يدخل الأوليفين الأخضر في صناعة ألوان الزيتية ويعرف باسم الزبرجد Peridot إلا أن صلابته تبلغ ٧ أى أقل من صلابة الأحجار الكريمة المهمة مثل الياقوت والاماس (١٠) .

ويتميز الأوليفين ببريقه الزجاجي ومغذشه الأبيض وبتشققه الضعيف ومكسره المعاري ويوجد غالباً على شكل كتل صغيرة محبة الشكل ويبلغ ثقله النوعي ٣.٢ . ويكثر معدن الأوليفين في الصخور النارية وبوجه خاص في البزلت حيث يمثل نحو ٧.٦ ٪ من وزن البازلت

### الهورنبلند : Hornblende

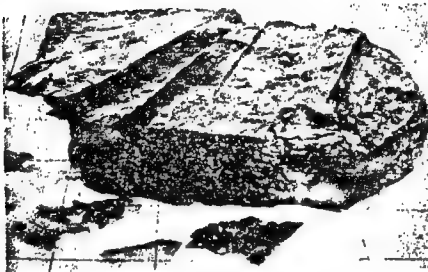
أحد مجموعة معادن السليكات ويتركب كيميائياً من سليكات الكالسيوم والمنغنسيوم والحديد مع قليل من الألومنيوم ويتبلور الهورنبلند في منشورات تتبع نظام أحادي الميل . ولونه أخضر قاتم أو أسود . ومن ثم يشبه الهورنبلند معدن الأوجيت (الذي ينتمي إلى نفس مجموعة السليكات) من حيث اللون ولكن أهم ما يميز الهورنبلند عن الأوجيت أن الأول يتشقق تشققاتاً واضحة في اتجاهين متوازيين لوجهين من أوجه المنشور ويتقاطعان في زاوية يتراوح مقدارها من ٥٦° إلى ٦٤° (١١)

ومن بين الخواص الطبيعية للهورنبلند أن بريقه زجاجي ومغذشه أخضر ومكسره غير مستوي وبلوراته طويلة الشكل وصلابته ٦,٥ وثقله النوعي ٣ . ويمثل الهورنبلند في الصخور النارية وخاصة الجرانيت والديوريت وبعض الصخور المتحولة ، وتبلغ نسبة الهورنبلند نحو ٢,٤ ٪ من وزن الجرانيت .

### المليكا : Mica

من مجموعة السليكات الصفائحية ، ومن ثم يتركب هذا المعدن من سليكات الألومنيوم مع واحد أو أكثر من أكاسيد البوتاسيوم أو المغنسيوم أو الحديد ، وتتميز قشور المليكا بشدة لمعانها وتوهجها ، بل قد تشبه أحياناً قشور الذهب من حيث اللامعان . ومن ثم اكتسبت المليكا إسمها اللاتيني Micare أى تتوهج to Shine . (شكل ٣٧)

(1) Don Leet and Judson, S., "Physical geology", N.J. (1965)p.31.



١ شكل ٣٧ ، قطعة من معدن الميكا ويمكن اعتبارها كتاباً يتألف من الآلاف الوريقات الرقيقة السمك . حصصها يقع بجوار العينة الصخرية القطعة الكبيرة في الصورة .  
ونموج شفافية الميكا نيماء لسمك وريقاتها الصفاتحية

وتتبلور الميكا في أشكال سداسية تتهم بنظام أحادي الميل وتتشقق الميكا على شكل صفائح رقيقة السمك جدا وتزداد درجة شفافية الميكا كلما كانت صلب نحها عاية في الرقة . وتتمثل الميكا بوجه خاص في صخر الجرانيت الذي يتألف أساسا من الكواتز والفلسبار والميكا وتمثل الميكا نحو ١١ ٥ / من جملة ورن الجرانيت . كما تتمثل الميكا كذلك في الصخور الرسوبية وتقدر بنحو ٦ ٩ ، من ورن الصخور الرملية ونحو ١٨ ٤ / من ورن الصخور الصلصالية . وتستخدم الميكا في صناعة بعض الآلات الكهربائية وبدا من بعض أنواع الزجاج . وتختلف ألوان الميكا تبعا لتركيبها الكيميائي والشوائب التي تدخل فيها ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الميكا هما :

#### أ - الميكا البيضاء : المسكوفيت *Muscovite*

وتتألف من سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم واكتسبت الميكا البيضاء اسمها عندما كانت تستخدم بدلا عن الزجاج في روسيا القيصرية

وخاصة في مدينة موسكو Muscovy . ومن خصائص الميكا البيضاء أن بريقها لؤلؤي ومخدش مسحوقها أبيض وتشققها تام ومكسرها شظي وهي شفافة Transparnt ، ودرجة صلابتها ٢,٥ وثقلها النوعي ٢,٧ .

#### ب - الميكا السوداء : البيوتيت Biotite

وتتألف من سليكات الألومنيوم مع المغنسيوم والحديد وقد سميت باسم مكتشفها العالم الفرنسي J.B Biot . وتتميز الميكا السوداء بلونها الاسود أو البنى ومن ثم فهي نصف شفافة Translucent وبريقها لؤلؤي إلى شبه فلزي ومخدشها أخضر وتشققها تام ومكسرها شظي ودرجة صلابتها ٢,٥ وثقلها النوعي ٢,٨

#### معادن الفلسبار : Felspar

تتألف هذه المجموعة من المعادن كيميائيا من سليكات الألومنيوم مع واحد أو أكثر من أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وهي مجموعة هامة من المعادن التي تدخل في تركيبها صخور قشرة الأرض وتتكون معادن الفلسبار في الصخور النارية نتيجة لتمايز الصهير في باطن الأرض . وعندما تفتت الصخور النارية بفعل عوامل التقرية فوق سطح الأرض تنقل معادن الفلسبار وترسب وتحتل بمفتتات الصخور الرسوبية ومن ثم تكون نسبة كبيرة فيها وتبلغ نسبة الفلسبار في الجرانيت نحو ٥٢,٣ / وفي البازلت ٤٦,٢ / وفي الصلصال ١٧ ٦ / وفي الصخور الرملية ٨,٤ % وفي الصخور الجيرية ٢,٢ / ويمكن أن يميز نوعين مختلفين من معادن الفلسبار هما :

#### أ - الفلسبار الأرتوكلازي : Orthoclase Felspar

ويتركب كيميائيا من سليكات الألومنيوم مع البوتاسيوم ، ويكمل بقية مجموعة السليكات يتبلور هذا المعدن في منشورات تتبع نظام أحادي الميل ، ويعد الفلسبار من أهم المعادن المكونة لصخر الجرانيت ويتلون هذا الصخر الأخير بلون معادن الفلسبارات الأرتوكلازية بهريقه الزجاجي

ومخدشه الأبيض ويشقق في اتجاهين يتقابلان في زاوية قائمة ،  
ومكسرة غير مستوى ودرجة صلابته ٦ وثقله النوعي ٢,٦ .

#### ب - الفلسبار البلاجيوكلازى : Plagioclase Felspar

ويتركب هذا المعدن كيميائيا من سليكات الألومنيوم مع الصوديوم أو  
الكالسيوم بدلا من البوتاسيوم . ويتميز بأن بلوراته مستطيلة الشكل  
تظهر على أوجهها حنود تواسية Twining ، وتتبع منشورات بلورات  
البلاجيوكلاز نظام الميول الثلاثة ، وتتشابه معظم الخصائص الطبيعية  
للبللاجيوكلاز مع تلك الخاصة بالارثوكلاز سوى أن الأول يبدو أبيض أو  
رمادى اللون والآخر أحمر اللون . وتبا لاختلاف التركيب الكيميائى  
لمعدن البلاجيوكلاز تمكن العلماء من تمييز معادن ثانوية منها الألبيت  
Albite (فلسبار الصوديوم) والانورثيت Anorthite (فلسبار الكالسيوم) ،  
والكاولين Kaolin أو كما يعرف باسم الطين الصينى China Clay  
(سليكات الألومنيوم مع الماء) (١) .

**الأحجار الكريمة :** يطلق العامة على المعادن النادرة الغالية الثمن Pre-  
cious stones هذا الاسم على الرغم من أنها تتألف أصلا من معادن ومن  
بينها الزمرد الأخضر اللون Emerald والياقوت الأحمر Ruby والصفير  
البنفسجى Sapphir والماس Diamond والعقيق بأنواعه Agat والجزع Onyx  
والمرجنيت Morganite والجمشت Amethyst والكونزيت Kunzite  
واللازورد Lapis Lazuli واليشب Jade والفيروز Turquoise والتورمالين  
Tourmaline والزبرجد الزيتونى Chrysolite والكوارتز الوردى Rose  
Quartz وحجر القمر Moon Stone والعقيق الأحمر garnet والزبرجد  
الأزرق Aquamarine والتوباز Topaz .

(1) a- Kirkaldy, J.F., " Minerals and Rocks..." London(1976).

b- Monadadori, A.G., " The Macdonald Encyclopedia of rocks and minerals  
", Macdonald (1986)

c- Pellant, C "Earth scope", London (1985).

d- Pellant, C. " Rocks and mineral ... " Pan Book, London, (1990).



## الفصل الخامس

### الصخور

ليس من الصحيح كما كان شائعاً من قبل أن الصخور هي المواد الصلبة التي تدخل في تركيب قشرة الأرض ذلك لأن هناك كثيراً من الصخور تتميز بليونتها ورخاوتها . ومن ثم فقد جرى العرف بين الجيولوجيين على أن الصخور عبارة عن مادة ما تجمع بين طيناتها معدنين أو أكثر . وإن كان هذا التعريف ينطبق على أغلب صخور قشرة الأرض فإن هناك بعض أنواع من الصخور لا تتفق مع هذا التعريف .

فكما تبين من قبل بأن هناك بعض المعادن تتألف من عنصر واحد فقط ، فإن هناك كذلك بعض المعادن تتألف هي الأخرى من معدن واحد فقط . ومن بينهما الحجر الجيري (الكلسيت) الذي يتكون من كربونات الكالسيوم والجبس الذي يتكون من كبريتات الكالسيوم . ولكن تبعا لحديث هذه المواد في قشرة الأرض على شكل طبقات أو كتل كبيرة الحجم فإن مظهرها العام يعد أقرب إلى الصخور منه إلى المعادن . هذا إذا ما وضعنا في الاعتبار بأن للمعدن لا بد وأن تكون جميع أجزائه متجانسة وكاملة التماسق ومتشابهة إلى حد بعيد ، وهي خاصية لا تتمثل عادة في الطبقات أو الكتل الصخرية الواسعة الامتداد .

وإذا استطعنا تصنيف المعادن إلى مجموعات مختلفة وفقاً لتباين تركيبها الكيميائي - مثل مجموعة المعادن العنصرية والمعادن الكهريتيدية ومعادن الكربونات - فإنه من الصعب أن نتبع مثل هذا التقسيم عند تصنيف الصخور . ويرجع ذلك إلى أنه قد تصانف صخرين أو أكثر بحيث يتشابه جميعها من حيث التركيب المعنى ، ولكن قد يكون لكل منها خصائصه الطبيعية المميزة ونشأته المختلفة . وقد تسهم عملية تمييز المعادن إلى جانب بعض الخصائص الأخرى في تصنيف أنواع مجموعات الصخور . وعلى ذلك فقد لجمع الجيولوجيون على تصنيف صخور قشرة

الأرض بحسب طرائق نشأتها والظروف التي ساعدت على تكوينها الى ثلاث مجموعات كبرى هي :

#### ١ - الصخور النارية : Igneous Rocks

اتخذت هذه المجموعة من الصخور اسمها « النارية Igneous » من الكلمة اللاتينية Ignis أى نار Fire . ذلك لأنها تكونت عند بداية تكوين قشرة الأرض ، وكانت في بداية حالتها الأولى منصهرة ولزجة وشديدة الحرارة ، ثم أخذت تبرد بالتدريج وكوئت الغلاف الصخري الأصلي لقشرة الأرض . ولا تزال هذه الصورة تعيد نفسها من جديد تبعا لانبثاق المصهورات النارية من باطن الأرض عبر الشقوق والفوهات البركانية وتنساب على سطح الأرض وتكون الصخور النارية بعد أن تتعرض للبرودة .

ويطلق بعض الجيولوجيين على هذه المجموعة اسم الصخور الأولية Primary Rocks ذلك لأنها أول صخور ظهرت على سطح الأرض وأنها الصخور الأولية التي تكونت منها قشرة الأرض . في حين يطلق البعض الآخر عليها اسم « الصخور المتبلورة » Crystalline ذلك لأن القسم الأكبر من هذه المجموعة الصخرية والذي يتكون أسفل قشرة الأرض يتعرض للبرودة التدريجية التي تساعد على تبلور معادن الصخر . ومن بين نماذج الصخور النارية الجرانيت والبازلت والديوريت والندولوريت والاندسيت والهيردويت والسرينيتين والجابر .

#### ٢ - الصخور الرسوبية : Sedimentary Rocks

سميت هذه المجموعة من الصخور بهذا الاسم لأنها تتكون جميعا نتيجة لعمليات الارساب . وحيث تتجمع المواد الرسوبية عادة على شكل طبقات متعاقبة فوق بعضها البعض ، فيطلق الجيولوجيون عليها اسم الصخور الطباقية Stratified Rocks ، في حين يطلق البعض الآخر عليها اسم الصخور الثانوية Secondary Rocks لأنها تكونت في مرحلة تالية بعد تكوين الصخور النارية الأولية الأصلية و لأن القسم الكبير منها عبارة عن

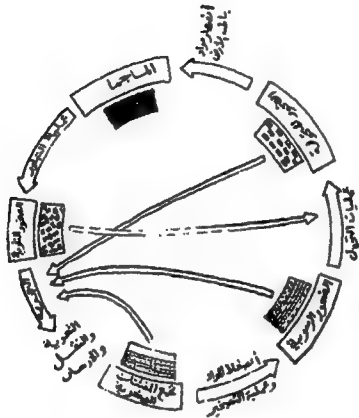
حطام وملتات الصخور النارية الأولية ، أو عبارة عن مواد ويقايا حيوانات ونباتات بحيث أدت عوامل النحت والنقل والارساب الى تكوين هذه المجموعة الثانوية من الصخور . ومن بين نماذج هذه المجموعة من الصخور ، الأحجار الرملية والصخور الطينية والجبيرية .

### ٣ - الصخور المتحولة : Metamorphic Rocks

وهي عبارة عن مجموعة من الصخور كانت بداية نشأتها تنتمي إلى أى من الصخور النارية أو الصخور الرسوبية ، ولكن نتيجة لتعرض الصخور للحرارة الشديدة أو للضغط الشديد أو لكليهما معا ، تحولت الصخور الأصلية إلى مجموعة صخرية أخرى جديدة اكتسبت من جراء هذه العمليات الطبيعية خواص طبيعية وكيميائية جديدة ومن ثم يطلق عليها اسم الصخور للتحولة ومن بين نماذج هذه المجموعة الصخرية اليبس ( Gneiss ) متحول عن الجرانيت ( ، والشيست الميكائى Mica Schist ) متحول عن الصخور الطينية ( والأردوار ) متحول عن الصخور الطينية ( والرحام ) متحول عن الكلسيت (

ومن ثم يتضح أن هذه المجموعات الثلاث من الصخور ترتبط فيما بينها ارتباطا كبيرا فيتمثل أصل صخور قشرة الأرض في المصهورات النارية والمagma والالافا نتيجة لعمليات انصهار المواد الباطنية في جوف الأرض . وعندما تتعرض magma للبرودة التدريجية داخل جوف الأرض تتعرض لعمليات التبلور ، ثم يتجم عنها بعد ذلك تكوين الصخور النارية ، وعند ظهور هذه الصخور الأخيرة فوق سطح الأرض تتعرض لعمليات التجوية والتعرية والنقل ثم بواسطة الارساب تتجمع المواد المفتتة وحطام الصخور الأولية على شكل طبقات مترسبة . وبفعل ثقلا فوق بعضها البعض وعند تعرض الصخور الرسوبية الثانوية والصخور النارية الأولية لعمليات الضغط والحرارة الشديدين تتكون الصخور المتحولة . وتعرف هذه العملية الطويلة البطيئة التي بدأت أولى دوراتها منذ بداية ميلاد قشرة الأرض ، والتي لا تزال دوراتها مستمرة حتى اليوم باسم الدورة الصخرية (١) The Rock Cycle . (شكل ٢٨) .

(1) Stokes, W.L... and Judson S., " Introduction to geology ", N.Y. (1968), p.33.



( شكل ٣٨ ) الدورة الصخرية

أولاً - الصخور النارية : Igneous Rocks

الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية :

تتشكل الصخور النارية بخصائص طبيعية متعددة ، البعض منها يمكن أن يساهم في عمليات تمييز الصخور النارية عن غيرها من المجموعات الصخرية الأخرى ويلاحظ أنه من الصعب أن تتخذ خاصية واحد كأساس لتقسيم الصخور النارية الى مجموعات مختلفة بل يحسن

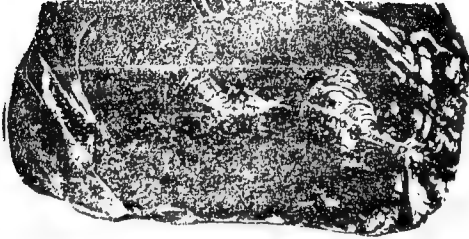
أن يعتمد التقسيم على عدة خصائص طبيعية مجتمعة . وتتلخص الخصائص الطبيعية العامة للخصور النارية فيما يلي :

#### ١ - اللون : Colour

تختلف ألوان الصخور النارية من صفر إلى أخضر . ومن الصعب أن يتخذ اللون فقط كأساس لتصنيف الصخور النارية وتمييزها ذلك لأن هذه الصخور ذات ألوان متعددة . فبعض الصخور النارية فاتحة اللون -Light Colour ، في حين أن هناك بعض الصخور النارية الأخرى تتميز بألوانها الداكنة -Dark-Colour . ولهما بين هاتين المجموعتين نلاحظ مجموعة ثالثة متوسطة تختلف ألوانها بين الألوان الرمادية والحمراء

#### ٢ - الثقل النوعي : Specific Gravity

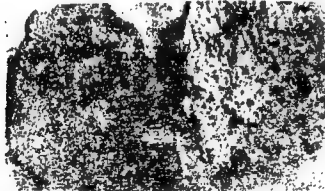
إذا فحصنا الصخور النارية من حيث اختلاف ثقلها النوعي يتبين أن بعضها منها يتميز بأن ثقله النوعي أكبر من غيرها . ويمكن القول بأن الثقل النوعي للصخور النارية يتراوح من ٢٢ إلى ٢.٣ ، ولكن أغلب مجموعات الصخور النارية يتراوح ثقلها النوعي من ٢٢ إلى ٢٧ في حين القليل من أنواع الصخور النارية يزيد ثقلها النوعي عن ٢.٣ . ومن الملاحظات الهامة يتبين أن الصخور الثقيلة الوزن في مجموعة الصخور النارية هي التي تتميز بالألوان الداكنة في حين تلك التي تتميز بقلّة ثقلها النوعي يغلب عليها الألوان الفاتحة . ونحن لا ننطبق هذه القاعدة تماماً على جميع أنواع الصخور النارية وعلى سبيل المثال نجد أن صخر الزجاج الطبيعي ( أوبسيديان Obsidian ) يتميز بلونه الداكن ومع ذلك لا يزيد الثقل النوعي لهذا الصخر البركاني عن ٢.٤ (شكل ٢٩) . كما أن صخر الخفاف من الصخور النارية ، ومع ذلك يطفو فوق سطح الماء لخفة ثقله النوعي ، حيث يدخل في تكوينه نسبة عالية من الغازات التي تنحبس داخل فجوات هذا الصخر البركاني (شكل ٤٠) .



( شكل ٣٩ ) صخر الزجاج الطبيعي - أوبسيديان - وهو يشبه أسطح الزجاج ،  
ويتميز بكونه النكس ، ومع ذلك فإنه قليل الثقل النوعي . أما نسيجه فزجاجي ،  
ومكسره محاري كمثل مكسر الكوارتز .

### ٣ - النسيج الصخري : Texture

يقصد بالنسيج الصخري خصائص حجم الجزيئات المكونة للصخور  
وكيفية ترتيب هذه الجزيئات داخل الصخر . أو بمعنى آخر معرفة  
خصائص شكل وحجم وترتيب وتوزيع المعادن المكونة للصخر .



( شكل ٤٠ ) عينة من صخر الخفاف

ومن نتائج الفحص الطبيعي لحبيبات وجزيئات الصخور النارية يتبين أن بعضاً منها يتكوّن من جزيئات ووحدات صغيرة وبعضها الآخر مكون من جزيئات مختلفة الحجم . ومن ثم فإن هناك أنواعاً من الجزيئات الصخرية صغيرة الحجم ومتجانسة إلى حد كبير في حين أن بعض الجزيئات الصخرية الأخرى غير متجانسة النسيج .

ويشبه بعض الصخور النارية المتجانسة الجزيئات مسخر الزجاج الطبيعي وتنعكس الأشعة الضوئية على أسطحها ولذلك يعرف نسيجها باسم نسيج الأسطح الزجاجية Glassy Surface في حين نجد أن أسطح البعض الآخر من هذه الصخور النارية المتجانسة الأجزاء معتمة وكأنها غطيت بطبقة قاتمة اللون ومن ثم يعرف نسيج الصخر باسم نسيج الأسطح المعتمة أو المتلبدة Matte Surface

**أنواع النسيج الصخري** تبعاً لاختلاف حجم الحبيبات التي تتألف منها الصخور النارية وتنوع ترتيبها واحتلاف المظهر الخارجي للصخر يمكن أن يميز الأشكال الآتية

أ . نسيج خشن الحبيبات : Coarse-grained Texture يطلق هذا التعبير على الصخر الذي يمكن أن نرى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة وعندما ينظر الفاحص إلى قطعة من هذا الصخر باستخدام عدسة مكبرة يلاحظ أن كل بلورتين يتداخلان مع بعضهما البعض Interlocking Crystals . ويختلف حجم البلورة الواحدة في الصخر من  $\frac{1}{16}$  من البوصة إلى عدة بوصات ولكن يقصد الجيولوجي بتعبير النسيج الصخري الخشن الحبيبات ، الإشارة إلى الصخور التي تتألف من بلورات كبيرة وقد تكون متجانسة الحجم Equigranular texture ويعد الجرانيت من أكثر الصخور النارية الخشنة الحبيبات شيوعاً فوق سطح الأرض . ومن ثم يطلق البعض على مثل هذا النسيج الصخري تعبير النسيج الجرانيتي - Granitoid texture . ويجب أن نضع في الاعتبار بأن مثل هذه البلورات الكبيرة الحجم الكاملة التبلور لا تتكون إلا على أعماق بعيدة من سطح الأرض ، وبحيث

تتعرض موادها المنصهرة لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على أن تكون بصورة كاملة Holocrystalline.

ب - نسيج دقيق الحبيبات Fine-grained texture ويطلق هذا التعبير على الصخر الذي لا يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة ، بل ترى باستخدام الميكروسكوب . أى أن الصخر مجهري البلورات Micro Crystalline وتتميز أسطح الصخور الدقيقة أو المجهرية الحبيبات بأنها قائمة متلبدة . ومن أهم العوامل التي لا تساعد على تكوين البلورات فى الصخر بصورة كاملة تعرض مواد الصخر للبرودة الفجائية وبسرعة مما لا يعطى الوقت اللازم لأن تتم عملية التبلور بصورتها البطيئة التدريجية

ج - نسيج زجاجى : Glassy texture يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور العديمة البلورات non crystalline وتتميز أسطحها بشدة لمعانها ومن ثم تشبه الأسطح الزجاجية ، وتختلف ألوانها من اللون الأحمر الى اللون الأسود ومن أمثلتها الصخر الزجاجى الطبيعى البركانى ويتضح من شكل أسطح هذه الصخور ومظهرها الخارجى العام Structure بأنها انسابت على سطح الأرض بعد انبثاقها وخروجها من باطن الأرض . ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريعة التى لم تمنح الصخر فرصة من الوقت لتكوين بلوراته

د - نسيج بورفيرى : Prophyritic Texture يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التى تتألف من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبيا ( تعرف باسم فينوكريست Phenocrysts ) (١) والمبعثرة فى محيط أعظم من البلورات المعدنية المجهرية المكونة لمادة الصخر . ومعنى ذلك أن مواد الصخر تعرضت لفترة محدودة لعمليات البرودة التدريجية . فإذا كان الصخر شبه سطحي أى تكون بالقرب من سطح الأرض ، ثم انبثق لوق سطح الأرض فقد يظهر الصخر بالنسيج البورفيرى حيث تكون بعض موادها نجحت فى أن تكون بلورات فى حين أن بعضها الآخر لم يكن قد تعرض بعد لعمليات التبلور . (شكل ٤١) .

(١) تعبير - Pheno - مشتق من الكلمة اليونانية Phainein † ومعناها : واضح أو ظاهر . .



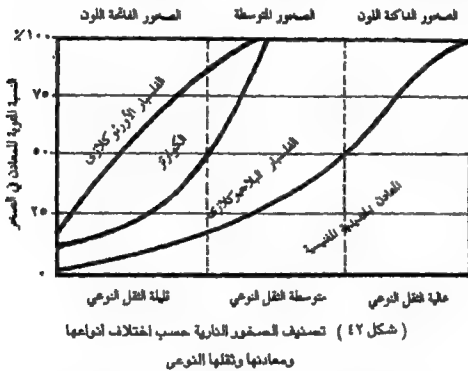
( شكل ٤١ ) ثلاثة أشكال مختلفة للمخلفات الصخرى الحديدية يتضح فيها اختلاف حجم حبيبات الفينوكريست المتبلورة والمكونة هنا من الفلسبار والمبعثرة في مواد نارية غير متبلورة .

#### ٤ - التركيب المعدني للصخور النارية :

تساعد معرفة التركيب المعدني على تفسير اختلاف ألوان الصخور ومعرفة الخصائص العامة لمجموعات الصخور النارية وإلى حد ما تمييز بعضها عن البعض الآخر . فعند فحص الصخور الجرانيتية الخشنة الحبيبات ، الفاتحة اللون ، يتضح أنها تتألف من نسبة محدودة من المعادن الحديدية المغنيسية ، ويغلب فيها تكوين معادن أخرى مثل الميكا والامفيبول والكوارتز والفلسبار الأورثوكلازي والبلاجيوكلازي . وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات الداكنة اللون لا يتمثل فيها الكوارتز أو الفلسبار الأورثوكلازي في حين يكثر فيها الفلسبار البلاجيوكلازي والمعادن الحديدية المغنيسية وخاصة الأوجيت والأوليفين . وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات للمتوسطة اللون تحتوى غالباً على قليل من الأورثوكلاز والكوارتز ونسبة مرتفعة من البلاجيوكلاز ( بحيث يتركب

بنسب متساوية من الألبيت والأنورثيت ) وكذلك بعض المعادن الحديدية المغنيسية Ferro-magnesian وخاصة الهورنبلند والأوجيت .

ومن ثم يمكن القول بأن هناك تناسقا واضحا بين الاختلاف المعدني في الصخور وبين ألوانها العامة وثقلها النوعي وكثافتها النسبية . فتمتيز المعادن الحديدية المغنيسية بارتفاع كثافتها وبزيادة ثقلها وبألوانها الداكنة ، في حين تتميز معادن الفلسبار الأورثوكلازي بقلّة كثافتها ووزنها وبألوانها الفاتحة . وتمثل مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازي مركزا متوسطا (١) من حيث التركيب المعدني (شكل ٤٢) .



هذا ويلاحظ بأنه لا يمكن أن نحدد التركيب المعدني للصخر بواسطة العين المجردة أو باستخدام العدسة المكبرة اليدوية ، ولكن يتم ذلك بواسطة الفحص الميكروسكوبي بعد وضع عينات من الصخور النارية وسحقها والمساقتها فوق الشرائح الزجاجية .

(1) Stokes W. and Judson, S., " Introduction to geology ", N.Y. (1963) p.39.

وحيث تتكون الصخور النارية في باطن الأرض وتتميز بشدة حرارتها وأنها تتألف أصلاً من الماجما المنصهرة فإنها لا تحتوى على حبيبات . وحتى إذا سقطت كائنات ما في مواد الصخور النارية المنسابة على سطح الأرض ، فسرعان ما تنصهر داخل مواد الصخور النارية ولا يتبقى لها أى رمز يدل على وجودها .

### تكوين الصخور النارية ونشأتها :

تتكون الصخور النارية من الماجما المنصهرة Molten Magma داخل باطن الأرض ، وعندما تنبثق للماجما وتظهر فوق سطح الأرض كما هو الحال عن طريق البراكين فتعرف في هذه الحالة باسم اللافا أو Lava أو اللابا . ولدى باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض قد تتعرض الماجما للبرودة التدريجية وتتكون الصخور النارية بأشكال مختلفة من بينها العروق والسدود النارية ، واللاكوليث ، والفاكوليت ، والباثوليت . أما فوق سطح الأرض فقد تكون اللافا أشكال متعددة من تكوينات الصخور النارية ومن بينها المخروطات البركانية والهضاب البركانية ، والمفتتات الصخرية النارية Pyroclastic debris والبريشيا البركانية Volcanic breccia والغبار البركاني Volcanic dust .

وعلى ذلك يمكن القول بأن المصدر الرئيسى لمواد الصخور النارية هي مصهورات الماجما في باطن الأرض . ويعبر الاستاذ دون ليت (١) Don Leet عن ذلك بقوله :

" All igneous rocks were formed from the solidification of magma "

ولكن تتشكل مجموعات الصخور النارية تبعا لعمليات البرودة التي تعرضت لها مواد الماجما ، ومن ثم ينبغي أن نشير في هذا المجال الى عملية تبلور الصخور النارية .

### عملية التبلور الصخري : Crystallization

الماجما في باطن الأرض عبارة عن سائل منصهر من الأيونات عند

(1) Don Leet L., and Judson, S., (Physical geology ). Prentice Hall, (1965)p.63.

درجة حرارة مرتفعة جداً . وعندما تتعرض مواد الماجما المنصهرة لعمليات البرودة التدريجية تنكمش وتتقلص وتعطى الفرصة لتكوين الأجزاء المعدنية ، وخلال فترات متعاقبة تكبر هذه الأجزاء من حيث الحجم وتؤدي في النهاية إلى تكوين البلورات المعدنية الكبيرة الحجم . ويتجميع البلورات مع بعضها البعض وتداخلها فيما بينها تكون الصخور النارية . وعلى ذلك تختلف مجموعات الصخور النارية من مجموعة إلى أخرى تبعاً لعاملين رئيسيين هما :

(أ) التركيب الكيميائي والمعدني للماجما في باطن الأرض .

(ب) مراحل عمليات البرودة التي تعرضت للماجما لها .

وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض الماجما قد تكون غنية من حيث تكوينات الحديد والمغنسيوم ، في حين يرتفع في بعضها الآخر نسبة السليكون والألومنيوم . وعندما تتعرض الماجما المولدة من المواد الحديدية للمغنيسية لعمليات البرودة ، فإن الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالباً ما يرتفع فيها نسبة وجود المعادن الحديدية - المغنيسية .

في حين إذا تعرضت الماجما المولدة من السليكون والألومنيوم لعمليات البرودة فإن الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالباً ما تكون من معادن الفلسبار والكوارتز . ولذلك من الصعب جداً أن تتشابه لافا بركانية بأخرى لبركان آخر بل قد لا تشابه لافا البركان الواحد في فترة ما مع لافا متبقة منه في فترة أخرى .

وتبلغ درجة حرارة اللافا الحديدية - المغنيسية في حالة إنصهارها نحو ٥٢٠٠° ف (١١٠٠°م) في حين كانت درجة حرارة اللافا الغنية بالسليكون والتي انبثقت من فوهة بركان اتنا في عام ١٩١٠ تتراوح من ١٦٠٠° ف إلى ١٨٣٠° ف (٩٠٠ - ١٠٠٠°م) ، وينصهر صخر الجرانيت عند هذه الحرارة العالية .

وقد تتألف الصخور النارية من تداخل بلورات معدن واحد مع بعضها البعض ، أو من تداخل بلورات لمعادن سليكية مختلفة وخاصة الأوليفين والأوجيت والهورنبلند والبيوتيت والأنورثيت والألبيت والأورثوكلاز

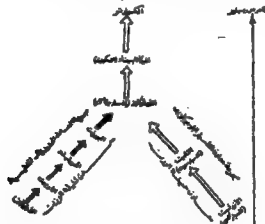
### والمسكوفيت والكوارتز.

واكتشف العالم بوين N.L.Bowen<sup>(١)</sup> في عام ١٩٢٢ قانون التفاعل الكيميائي ووجد أن السليكات تترتب في مجموعتين مختلفتين من التبلور . وتبين أن أي معدن في كل من هاتين المجموعتين المختلفتين مشتق من المعدن الذي تكون قبله داخل نطاق المجموعة وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية. وتعرف هاتان المجموعتان من سلسلتى التفاعل الكيميائي لمعادن الصخور النارية باسم قانون بوين للتفاعل

#### Bowen's Reaction Series

وتعرف المجموعة الأولى من المعادن المتبلورة باسم مجموعة المعادن الحديدية المغنيسية الثقيلة الوزن. وأول من يتبلور في هذه المجموعة معدن الأوليفين ثم يليه بعد ذلك الأوجيت والهورنبلند والبيوتيت على الترتيب ثم الأورثوكلاز ويتبلور بعد ذلك كل من المسكوفيت والكوارتز.

وفي المجموعة الثانية والتي تتألف من معادن الفلسبار الهلاجيوكلازي الخفيفة الوزن، يذكر بوين بأن الأنورثيت هو أول معادن هذه المجموعة تعرضاً للتبلور حيث يتبلور هذا المعدن عند درجات حرارة تشبه تلك التي يتبلور عندها الأوليفين في مجموعة المعادن الحديدية - المغنيسية. ثم يتبلور بعد ذلك كل من الألبيت والفلسبار الأورثوكلازي والمسكوفيت والكوارتز على الترتيب، (شكل ٤٢)



(شكل ٤٣) : قانون التفاعل حسب دراسات بوين .

ومن ثم يتضح بأن هذه المعادن لا تتبلور من الماجما للنصهرة كلها على مرحلة واحدة، بل يتبلور كل معدن منها عند درجة حرارة معينة وتحت ظروف طبيعية وكيميائية خاصة تؤدي إلى تكوين المعدن وتبلوره وتمييزه عن بقية مواد الماجما . ويتضح من دراسات بوين كذلك بأن كل المعادن التي تتكون من الماجما داخل باطن الأرض قد تتحول في نهاية الدورة وتؤدي إلى تكوين الكوارتز . ولكن نادراً ما تتم للمعادن عملية تبلورها بصورة كاملة، وهذا يفسر من ناحية أخرى أسباب تنوع التركيب المعدني للصخور النارية. ومن أسباب عدم تكمة نورة التبلور تسرب بعض الغازات الطيارة Volatiles التي تساعد للماجما على سهولة تحركها وليونتها وامتزاج المعادن بعضها ببعض الآخر حتى تتم عملية التفاعل الكيميائي.

وتختلف عمليات تبلور الصخر تبعاً لخواص المواد التي تتألف منها الماجما من ناحية والعمق الذي تتبلور عنده الماجما وعمليات البرودة التدريجية والفجائية من ناحية أخرى. وقد تبين بأن الماجما عند ظهورها على سطح الأرض وبحيث تكون درجة حرارتها ٢٠٠٠ ف (١,١٠٠)، تحتاج إلى أزمنة مختلفة لكي تتجمد كتلتها ، فإذا كان سمكها محدوداً فتبرد في فترة قصيرة أما إذا كانت كبيرة السمك فإنها تحتاج إلى زمن طويل كل تتجمد أجزاء كتلتها . وقدّر الأستاذ دالي Daly الزمن اللازم لتجمد مثل هذه الماجما في البيان التالي:

الزمن اللازم لتجمدها	سمك الماجما بالانكلم
١٢ يوم	٢
٣ سنوات	٣٠
٣٠٠ سنة	٣٠٠
٣٠,٠٠٠	٣٠٠٠
٢ مليون سنة	٣٠,٠٠٠

## بعض الحالات التى توجد عليها الصخور النارية فى الطبيعة

قد تتكون الصخور النارية فى باطن الأرض وتعرف فى هذه الحالة بالصخور الجوفية أو البلوتونية<sup>(١)</sup>، كما قد تظهر الصخور النارية بأشكال مختلفة فوق سطح الأرض، وفى هذه الحالة الأخرى تعرف باسم الصخور البركانية<sup>(٢)</sup> ومن بين أمثلة أشكال الصخور البركانية المخروطات البركانية والهضاب البركانية والفبار والمقنونات البركانية، وسيأتى الحديث عنها بالتفصيل فى الفصل السادس من هذا الكتاب. أما الصخور الجوفية أو البلوتونية التى تتكون فى باطن الأرض قد تظهر فى الأخرى على سطح الأرض بعد إزالة الطبقات الصخرية التى كانت تقع فوقها بفعل عوامل التعرية أو بعد تعرضها لحركات رفع تكتونية تؤدى إلى ظهورها فوق سطح الأرض. ومن ثم تسهم هذه الصخور الجوفية فى تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض. ومن بين أهم الحالات التى قد توجد عليها الصخور النارية الجوفية فى الطبيعة ما يلى:

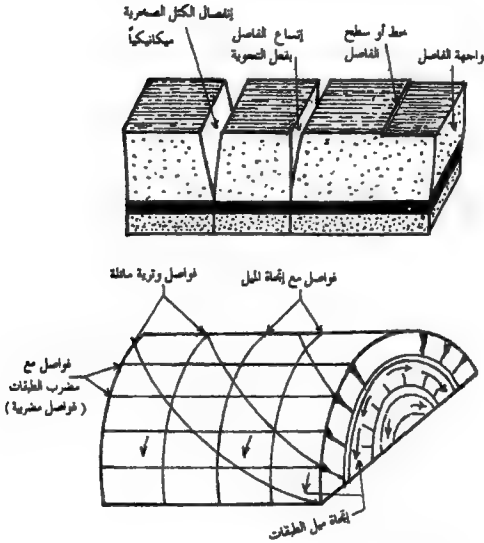
١. العروق النارية: Sills يطلق لفظ عرق نارى Sill على المصبورات النارية التى تنحصر بين أسطح الطبقات الصخرية بعد اندفاع الماجما من باطن الأرض ، وكثيراً ما تكون هذه العروق أفقية الامتداد . ولكن فى بعض الحالات قد تكون مائلة أو حتى عمودية، إلا أنه فى جميع هذه الأوضاع لابد وأن يكون امتدادها العام موازياً لامتداد أسطح الطبقات التى تداخلت فيها العروق النارية Concordant to bedding

ويختلف حجم العروق النارية من فرشاة لافية يقل سمكها عن بوصة واحدة إلى كتل هائلة الحجم والامتداد من الألفا يزيد سمكها عن ١٠٠ قدم . ولابد أن نوضح هنا أوجه الاختلاف بين العروق

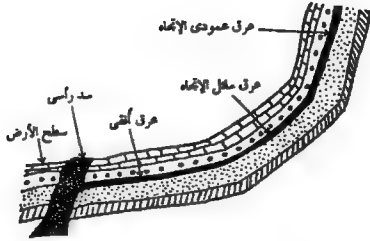
(١) تعبر بلوتوني Plutonic أى جوفى مشتق من اسم الإله الإغريقى بلوتو Pluto إله باطن الأرض .

(٢) تعبر بركاني Volcanic مشتق من اسم الإله الإغريقى فالكان Volcan إله النار .

## أشكال الفواصل النظامية بالطيات ( الرئيسية ) .



شكل ( ٤٤ ) الفواصل النظامية بالطيات الصخرية .



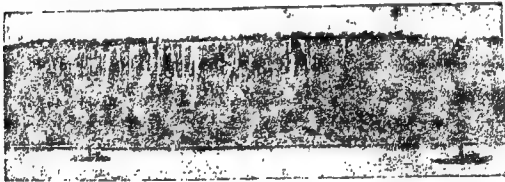
( شكل ٤٥ ) اختلاف امتداد العروق النارية ( من إقليمية إلى مائية إلى شبه  
رأسية ) ولكنها في جميع الحالات تكون موازية لأسطح الطبقات إما السدود النارية فهي  
عمودية على الامتداد العام لأسطح الطبقات.

الصخرية Sills والغريشات اللاافية المدفونة Buried lava flow والأخيرة  
عبارة عن مصهورات لاقية سطحية ثم غطت بالرواسب وانطمرت تحتها  
وأصبح لها نفس الشكل العام للعروق النارية. غير أنه يتبين أن أسطح  
الغريشات اللاافية المدفونة تتميز بسطحها المورج الذي تكثر فيه كذلك  
الفراغات الصخرية . وإن دل وجود هذه الفراغات على شيء فإنما يدل على  
تكوين اللافا فوق سطح الأرض وانحباس الغازات فيها، أما أسطح العروق  
الصخرية النارية فتتميز بأنها ناعمة ولا تظهر فيها مثل هذه الفراغات  
الصخرية وإنما يلاحظ فيها أنغماس بعض الفتحات الصخرية التي  
انفصلت من التكوينات الصخرية المجاورة عندما تداخلت فيها العروق  
الصخرية النارية.

وعندما تظهر العروق النارية على سطح الأرض قد تؤدي إلى تكوين

هضاب مستوية الامتداد تبعاً للامتداد الأفقى للعروق النارية. وفى بعض الأحيان الأخرى عندما تتألف العروق النارية من عدة فرشاة لافية متعاقبة وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة طبقات صخرية أخرى قد تؤدي إلى تكوين المدرجات الصخرية Rock Terraces

ومن بين أنظهر أمثلة العروق النارية الأسوار الجانبية لتهر همدسون والمعروفة باسم الباليسيد The Palisades. وتظهر هذه الأسوار النارية على شكل حافات رأسية تكوت أصلاً من عروق نارية هائل الامتداد والسمك فى صخور العصر الترياسى. ويتألف هذا العرق النارى من الدياباز Dia- base والجابرو Gabbro وعلى الرغم من أن هذه المصهورات النارية هى مواد لعرق نارى ألقى إلا أنها تبدو وكأنها كتل عمودية. ويعزى المظهر العمودى الظاهرى للعرق النارى إلى نجاح نهر همدسون فى شق خنادق نهري عميق له فى الفرشات النارية من جهة وإلى تأثير الشقوق العمودية Columnar Jointing التى تكوتت فى مواد العرق النارى أثناء عملية برودة مواده من جهة أخرى (شكل ٤٦)



٤٦ (شكل ٤٦) العروق النارية على جانبي نهر همدسون بالولايات المتحدة الأمريكية - لاحظ الشقوق الرأسية التى قطعت العرق النارى، وجعلته يظهر وكأنه مكون من «طبقات» نارية عمودية للميل.

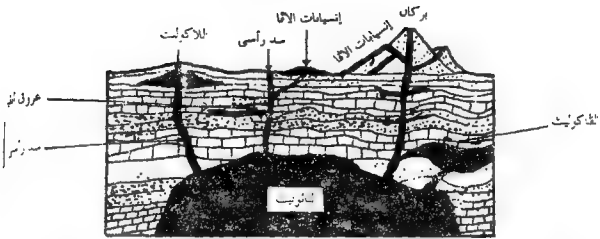
## ٢- المدود النارية: Dykes

وهى عبارة عن مظهر من مظاهر انتفاقات الماجما من باطن الأرض

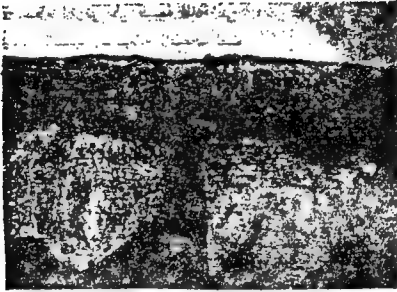
واندفاعها رأسياً لتتداخل في طبقات القشرة الأرضية، وتتكون السدود بالقرب من سطح الأرض وقد تظهر أطرافها العليا أيضاً فوق سطح الأرض وتختلف السدود عن العروق النارية في أن الأولى تكون عمودية على امتداد الطبقات التي تتداخل فيها Discordant to bedding ومن ثم فهي لا تتوافق مع الامتداد العام للطبقات باختلاف العروق النارية (شكل ٤٧)

ويختلف سمك السد الناري من بضعة بوصات إلى بضعة مئات من الأقدام . وعلى سبيل المثال يبلغ سمك سد مدفورد Medford الناري بالقرب من بوسطن - ماساتشوست - نحو ٥٠٠ قدم ، في حين يقل سمكه عن ذلك كثيراً في بعض المواقع الأخرى. ومن الصعب اكتشاف السدود النارية إلا بعد إجراء الدراسات التفصيلية الجيولوجية في المناطق المختلفة أو بمساعدة عوامل التآكل التي تعمل على إزالة الطبقات اللينة وإظهار مثل هذه السدود النارية. وعلى الرغم من أن سمك بعض السدود النارية قد لا يكون محدوداً إلا أنها قد تمتد لمسافات طويلة. ففي جزيرة أيسلند يمتد كثير من السدود النارية لمسافة تزيد عن ٣٠ ميلاً ، بل يوجد بهذه الجزيرة بعض السدود النارية التي يمتد كل منها لمسافة ٦٥ ميلاً. أما في غروب اسكتلند وجنوبها فقد تمتد السدود النارية لبضعة مئات من الأميال فيما بين جزيرة سكاى Sky شمالاً إلى جزيرة أران Aran جنوباً (شكل ١٥١، ب).

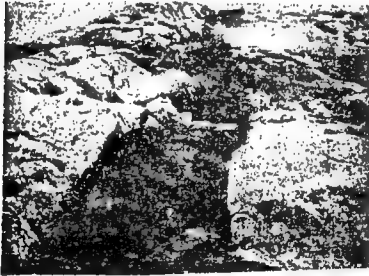
ويوضح (شكل ٤٨) السدود النارية الرأسية البازلتية المتداخلة في صخور نارية جرانيتية وأخرى رسوبية في منطقة ماساتشوست بالولايات المتحدة الأمريكية وفي هذا الشكل يظهر السد الرأسى في وضع عمودي على سطح الطبقات بينما في شكل ٥١ ب يظهر السد الرأسى وهو ممتد فوق سطح الأرض )



(شكل ٤٧) ، بعض الاشكال التي تتخلها المصهورات النارية بالقرب  
من سطح الأرض و فوقه .



٥ ( شكل ٤٨ ) ، السدود النارية الرأسية المتخلخلة في الصفوف.



( شكل ٤٩ ) ، السدود النارية الرأسية وهي في هذه الحالة  
ظاهرة على سطح الأرض.

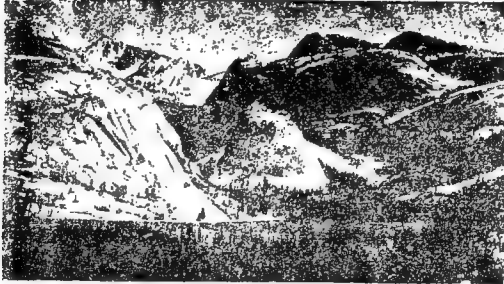
وتتوقف أشكال الظواهر التضاريسية الناجمة عن السدود الرأسية فوق سطح الأرض على خصائص المادة التي تتألف منها السدود واختلاف صلابتها بالنسبة لصلابة الطبقات الصخرية التي تداخلت فيها . فإذا كانت السدود الرأسية النارية أشد صلابة من الصخور التي تداخلت فيها ، فإنها تبقى على شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على نحت الصخور اللينة المجاورة لها . إذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، فإن عوامل التعرية تعمل على نحتها وتاكلها وقد تظهر السدود في هذه الحالة على شكل خنادق طويلة تمتد مع امتداد السدود النارية نفسها.

### ٣- الكتل القبابية اللافيه الكبرى: Batholiths<sup>(١)</sup>

وهي التي تعرف باسم الباثوليث وهي عبارة عن كتل قبابية لافية هائلة الحجم ويزداد حجمها في اتجاه باطن الأرض بحيث يصعب تحديد قاعدة تلك المواد اللافيه. وعندما تظهر مواد الباثوليث على سطح الأرض فإنها تغطي حيناً لا تقل مساحته عادة عن ٤٠ ميلاً مربعاً.

- والباتوليث في الواقع عبارة عن خزانات هائلة للمagma ولكن تعرضت لعمليات البرودة، وأصبحت كتل نارية هائلة الحجم. وعندما تتعرض الباثوليث لحركات رفع من أسفل إلى أعلى قد ترتفع إعاليتها إلى عدة آلاف من الأقدام فوق مستوى سطح البحر الحالي. وبذلك تتعرض أعالي الباثوليث لعوامل التعرية المختلفة التي تعمل بدورها على تاكل الأجزاء الضعيفة جيولوجياً فيها وإزالتها. ومن بين نماذج كتل الباثوليث القبابية الكبرى ، كتل ويكلو Wicklo والباتوليث الجرانيتية في مرتفعات جوديث Judith Mt بولاية مونتانا. ويرجع معظم الجيولوجيين سبب ظهور الباثوليث على شكل قباب هائلة الحجم ، إلى اندفاع اللافا أو المagma إلى أعلى تحت الضغط والحرارة الشديدين، وصهر الصخور الأخرى التي تصادف للمagma، ومن ثم تتكون قبة لافية أو جرانيتية كبرى تخرق الصخور الأخرى وتمزق بنيتها، وقد يتكون على جوانب القبة الكبرى

لكوام قبابية صغيرة الحجم نسبياً يطلق عليها اسم القباب الدائرية الصغيرة Stocks or Bosses. ومن بين أظهر امثلة الباثوليث التي تعرضت لعوامل التعرية ما يشاهد في بعض أجزاء من مرتفعات وايت White Mts في نيو هامبشير، ومرتفعات سيراكيذا حيث تظهر قباب يوسميت الكبرى Yosemite - في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية - وقد تأثرت بشدة بفعل عوامل التعرية التي عملت على تسوية منحدرات القباب، وأصبحت المنطقة شديدة التضرس قبابية المظهر (شكل ٥٠)



( شكل ٥٠ ) المظهر القبابي لبقاب الباثوليث في منطقة يوسميت في كاليفورنيا.

ويمكن أن تسجل الملاحظات الهامة الآتية عن قباب الباثوليث:

- ١- يرتبط وجود الباثوليث بالسلاسل الجبلية الكبرى في العالم ويندر مشاهدتها في مناطق لم تتعرض للإلتواءات ولحركات الطي والثني من قبل، كما أنه ليس من الضروري أن تتمثل الباثوليث في جميع المناطق الالتوائية. ويمكن القول بأن قباب الباثوليث يزداد حجمها كلما كانت حركة الإلتواءات عنيفة والسلاسل الإلتوائية هائلة الارتفاع.

ب - تمتد قباب الباثوليث فى اتجاهات موازية للاتجاه العام للسلاسل الجبلية التى تتداخلت فيها.

ج - تظهر قباب الباثوليث عادة فى مرحلة متأخرة بعد إتمام تكوين السلاسل الجبلية - أى بعد أن تنجح عوامل التعرية فى إزالة الطبقات اللينة وإظهار كتل الباثوليث. ولكن قد تتعرض هذه السلاسل الجبلية لحركات رفع تكتونية من جديد بعد ظهور قباب الباثوليث على سطح الأرض.

د - تتميز أعالى الباثوليث بشكلها القبابى تبعاً لتعرض الالفا المنصهرة لعمليات البرودة السريعة نسبياً واختلاطها بالمفتتات الصخرية التى كانت تتمثل فى المنطقة قبل اندفاع الالفا والمagma فيها.

هـ - تتألف الباثوليث غالباً من الصخور الجرانيتية، والجرانوديوريتية (جرانيت + ديوريت).

و - يعتقد بعض الجيولوجيين بأن الباثوليث تكتسب حجمها الكبير عندما تنجح فى صهر الصخور الأصلية المنطقة التى اندفعت فيها.

ز - يتنوع حجم الباثوليث من منطقة إلى أخرى ، وعلى سبيل المثال يلاحظ أن الباثوليث فى المرتفعات الساحلية بالسكا وكولومبيا البريطانية يبلغ طولها نحو ١١٠٠ ميل، ويتراوح عرضها من ٩٠ إلى ١٢٠ ميل ، فى حين تلك فى مرتفعات سيرانيفانا بكاليفورنيا لا يزيد طولها عن ٤٠٠ ميل ويتراوح عرضها من ٤٠ إلى ٧٠ ميل.

وقد تبرد magma فى باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض على شكل قباب نارية أقل حجماً بكثير من قباب الباثوليث وإذا كان السطح العلوى لهذه القباب محدباً أى على شكل كتل هلالية محدبة فتعرف باسم اللاكوليث (١) Laccolith. أما إذا امتدت المنصهرات النارية بين الطبقات الصخرية على شكل ه أطباق مفلطحة أو مقعرة أى على شكل كتل هلالية مقعرة فتعرف فى هذه الحالة باسم الفاكوليث . Phacolites

وعلى الرغم من أن كمية المواد المنصهرة التي تتألف منها الفاكوليت واللاكوليت محدودة بالنسبة لقباب الباثوليت، إلا أن سمكها الظاهري قد يكون كبيراً ويمثل ظاهرة واضحة على سطح الأرض، فقد تتكون اللاكوليت من فرشاة نارية محدودة السمك تنحصر بين الطبقات الصخرية للتندبة الحديثة، وبعد إزالة الطبقات الصخرية الحديثة بفعل عوامل التعرية تظهر قباب اللاكوليت على سطح الأرض وقد احتلت حيناً كبيراً تبعاً لظهور الامتداد الأفقي في السمك الظاهري لموادها وليس السمك الحقيقي - الامتداد الرأسى - لللاكوليت. ومن بين أجمل أمثلة اللاكوليت ما يتمثل في مرتفعات هنرى لاسال Henry La Sal ومرتفعات أباجو Abajo في جنوب ولاية يوتا بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل ٥١).



( شكل ٥١ ) إحدى قباب اللاكوليت وتشكيل منحدراتها بفعل عوامل التعرية.

كما ينجم عن الفاكوليت تكوين مناطق حوضية واسعة المساحة على سطح الأرض خاصة إذا ما تعرضت التكوينات الصخرية التي كانت تعلوها لفعل عوامل التعرية. وقد تتخذ الطفوح النارية المنبثقة من أعماق بعيدة من باطن الأرض شكل حلقات من المصهورات النارية تنحصر بينها الصخور الأخرى ويطلق على مثل هذه الظاهرة اسم اللاپوليث Lapoliths.

## تصنيف الصخور النارية

### وبعض نماذج لأنواعها المختلفة

يمكن تصنيف الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة على أساس اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته أو على أساس تنوع التركيب الكيميائي لمعادن الصخر أو على أساس اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى . ولكن أنسب هذه التقاسيم ذلك الذى يعتمد على كل الخصائص الطبيعية للصخر النارى. وفيما يلى محاولات مختلفة لتصنيف مجموعات الصخور النارية.

أولاً: بحسب اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته:

حيث إن المعادن المتبلورة وغير المتبلورة تدل على الظروف التى صاحبت نشأة الصخور النارية، فليس من الغريب أن تساهم هذه الخاصية فى تصنيف مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسيج الصخور النارية ومظهرها الخارجى يمكن أن تميز المجموعات الآتية:

#### ١- الصخور النارية الكاملة التبلور:

وهى التى تتكون فى باطن الأرض، وتتعرض معادنها للبرودة التدريجية ومن ثم استطاعت أن تكون بلورات معدنية كاملة التبلور. وتبعا لتكوين هذه المجموعة من الصخور داخل جوف الأرض فتعرف الصخور باسم الصخور النارية الجوفية العميقة Deep-Seated or Plutonic Rocks

#### ب - الصخور الزجاجية المظهر:

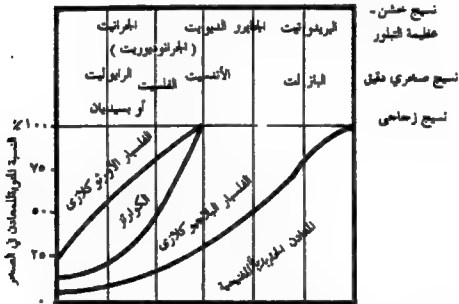
وهى التى تتكون فوق سطح الأرض ، حيث تتعرض معادنها للبرودة الفجائية ومن ثم لا تتكون فيها البلورات المعدنية. وتتميز هذه الصخور بمظهرها الزجاجى وتعرف كذلك باسم الصخور الطفحية أو البركانية

Volcanic

### ج - الصخور النارية البورفيرية المظهر:

يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التي تتميز بأن بعض معادنها تكون متبلورة ومبعثرة في محيط من معادن غير متبلورة ، ويعزى تبلور بعض معادن هذه الصخور وعدم تبلور بعضها الآخر إلى بروتة الملحما بالقوى من سطح الأرض ثم ظهورها على سطح الأرض قبل أن تتم عملية التبلور تماماً . وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور بالقرب من سطح الأرض وعلى أشكال المروك والسندو النارية فتعرف الصخور كذلك باسم الصخور النارية تمت السطحية أو المتداخلة - *Interme-diate or Intrusive hypabyssal Rock* ومن بين أمثلتها البورفيريت، والبورفيريت، والفلسيت والدولوريت. (شكل ٥٢)

قليلة الكثافة	عالية الكثافة
( سيال )	( صلب )
تكثر فيها للمعادن القليلة	تكثر فيها للمعادن القليلة
صخور متوسطة	إتظافه



( شكل ٥٢ ) تصنيف الصخور النارية وأهم مجموعاتها .

ثانياً: - بحسب اختلاف التركيب الكيميائي لمعادن الصخر:

قد لا يهتم بعض الكتاب بأهمية التركيب الكيميائي لمعادن الصخور النارية عند تصنيف هذه الصخور إلى مجموعات مختلفة ذلك لأنه قد

يكون هناك من الصخور النارية عينتان متشابهتان من حيث التركيب الكيميائي غير أنهما قد يكونا مختلفتين من حيث المظهر الخارجى والنسيج الصخرى واللوان الصخر. وإذا وضعنا فى الاعتبار بأن عدد المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض لا يزيد عن عشرة معادن فقط، وأن الصخور النارية بوجه خاص تتألف أساساً من ثانى أكسيد السليكون مع أكاسيد أخرى فلزية ولا فلزية لتبين لنا الأهمية الكبرى الخاصة بنسبة وجود ثانى أكسيد السليكون فى مجموعات الصخور النارية . وعلى أساس اختلاف نسبة ثانى أكسيد السليكون يميز الباحثون المجموعات الآتية من الصخور النارية:

#### أ- صخور حمضية: Acid rocks

ترتفع فيها نسبة ثانى أكسيد السليكون عن ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها الجرانيت (جوفى عميق) والفلسيت (متداخل - وسيط)، والريوليت (طفحى - بركانى).

#### ب- صخور متوسطة: Intermediate rocks

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها من ٥٢ إلى ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلها السيانيت والديوريت (جوفية) والبورفويريت (وسيط) والتراكيت والأنديت (سطحية).

#### ج- صخور قاعدية: Basic rocks

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون من ٤٠ إلى ٥٢٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلتها الجابرو (جوفى). والدولوريت (وسيط) والبازلت (طفحى).

#### د- صخور فوق القاعدية: Ultra-basick rocks

وتقل نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها عن ٤٠٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها البريدوتيت (جوفى)، واللمبرجيت (طفحى).

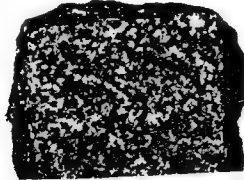
### ثالثاً: بحسب اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى العام :

تكتسب الصخور ألواناً مختلفة فى ضوء المعادن التى تدخل فى تركيبها، وعلى أساس اختلاف لون الصخر يقسم الباحثون الصخور النارية إلى المجموعات الآتية:

#### (١) الصخور النارية الفاتحة اللون :

وهذه المجموعة تتميز بتدنى ثقلها النوعى وتتركب عامة من سليكات الألومنيوم، ومن ثم تعرف باسم السيل Sial، وهى صخور حمضية ترتفع فيها نسبة أكسيد السليكون عن ٦٦٪ ومن أظهور نماذج هذه المجموعة من الصخور الجرانيت، والجرانيت العالبيديتي Grano-diorites . ويسمى الباحثون بأن هذين الصخرين يكونان نحو ٩٥٪ من جملة الصخور النارية الفاتحة اللون والتي تتبلور عادة على بعد عشرة أميال من سطح الأرض.

والجرانيت يتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازي والكوارتز والفلسبار الجلايوكلازي وكمية قليلة من المعادن الحديدية المغنيسية، وهو صخر كامل التبلور إلا أنه يختلف من صخر خشن الحبيبات إلى مجموعات مختلفة منه نقيقة الحبيبات، وعندما يتفتت الجرانيت بفعل عوامل التعرية تتحول الميكا والفلسبار فيه إلى المواد الطينية، أما حبيبات الكوارتز الصلبة فتكون ذرات الرمال، وقد استخدم الفراعنة هذا الصخر فى بناء الأعمدة والمسلات الجرانيتية نظراً لصلابته وقابليته للانصقال (شكل ٥٣)



( شكل ٥٣ ) عينة لصخر الجرانيت خشن الحبيبات

أما صخر الديوريت Diorite فهو صخر جوفى يشبه الجرانيت ومن ثم فهو كامل التبلور ولكن ثقل فيه نسبة الكوارتز ويدخل فى تركيبه أساساً البلاجيوكلاز، والهورتنلند، وقد اكتسبت هذه المعادن الأخيرة الصخر اللون الأسود، كما أصبح ثقله النوعى أكبر من ثقل الجرانيت. وهناك بعض الأنواع الأخرى من الصخور النارية تشبه صخر الجرانيت كيميائياً، ولكن يختلف مظهرها الخارجى عنه كما قد يكون بعضها الآخر عديم البلورات أو ذاكن اللون ومن بين هذه الأنواع:

**الرايوليت: Rhyolite** حيث يتميز بنفس التركيب الكيميائى للجرانيت إلا أنه تبعاً لنشأته فوق سطح الأرض مع المصهورات البركانية فإنه صخر دقيق الحبيبات، زجاجى المظهر ومتوسط اللون.

**الأوبسيديان: Obsidian** وهو الزجاج الصخرى الطبيعى، ويشبه تركيبه عامة التركيب الكيميائى للجرانيت، ومع ذلك فهو زجاجى المظهر، عديم التبلور تبعاً لتكوينه فوق سطح الأرض، وهو ذاكن اللون.

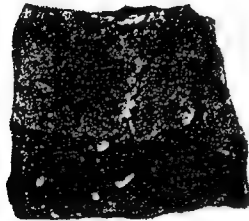
**حجر الخفاف: Pumice** وهو صخر طبقى يتكون فوق سطح الأرض وتعرض للبرودة الفجائية، وتكثر الفراغات الصخرية فى الصخر تبعاً لانحباس الغازات فى مراحله عندما تعرضت لعمليات البرودة، ومن ثم يتميز الصخر بخفة وزنه وقدرته على الطوفان فوق سطح الماء، وهو يشبه الجرانيت كذلك من ناحية التركيب المعدنى.

## (٢) الصخور النارية الداكنة اللون:

تتميز الصخور النارية الداكنة اللون بأنها أشد ثقلًا وأعلى كثافة من الصخور النارية الأخرى الفاتحة اللون، ويطلق عليها اسم صخور السيماسima حيث تتألف كيميائياً من سليكات المغنسيوم، ومن ثم فهى قاعدية تتراوح فيها نسبة أكسيد السليكون من ٤٠ إلى ٥٢ ٪ وعلى ذلك يمكن القول عامة بأن الصخور الحمضية التى تتتركب أساساً من الكوارتز والفلسبار تعد فاتحة أو باهتة اللون وخفيفة الوزن، فى حين أن الصخور القاعدية التى تتتركب أساساً من الأوجيت والأوليفين تبدو فاتحة أو سوداء

اللون ، وغالباً ما تكون ثقيلة الوزن. وتؤلف هذه الصخور النارية الداكنة الثقيلة الوزن أرضية المحيطات وخاصة أرضية المحيط الهادئ. ويقدر الباحثون بأن نحو ٩٨٪ من جملة حجم اللافا التي برزت على سطح الأرض تتكون من البازلت والأندسيت.

ويتميز البازلت بلونه الأسود الداكن، وتكثر في سطحه الفراغات والثقوب نتيجة لتصلبه فوق سطح الأرض وانحباس بعض الغازات في سواد الصخر أثناء عملية برودتها، (شكل ٥٤) ويتركب البازلت من الفلسبار البلاجيو كلازي والمعادن الحثيدية المغنيسية ومن بلورات مجهرية . وعندما يتعرض البازلت لعوامل التعرية يتشقق ويتفتت على شكل أعمدة سداسية الجوانب . ومن بين أظهر أنواع نماذج تشقق البازلت العمداني ما يتمثل في منطقة بورت رش - أنتريم - بالقسم الشمالي من أيرلندا .



( شكل ٥٤ ) عينة لصخر البازلت الأسود دقيق الحبيبات

ويشبه الجاهرو Gabbro صخر البازلت من حيث التركيب الكيميائي العام حيث يدخل في تركيبه الحديد والمغنسيوم، ومن ثم فإن ثقله النوعى مرتفع، ولكنه يختلف عن البازلت في أنه صخر قاعدي، كامل التبلور، خشن الحبيبات تبعاً لتكوينه في داخل قشرة الأرض.

### ٣-الصخور النارية الوسيطة؛

يقع فيما بين مجموعتي الصخور النارية الفاتحة اللون (معظمها حمضية التركيب) وبين الصخور النارية الداكنة اللون (معظمها قاعدية التركيب)، مجموعة ثالث من الصخور يطلق عليها اسم الصخور الوسيطة من حيث تركيبها المعدني وكذلك من ناحية نسيجها ولونها العامة.

ومن بين نماذج هذه المجموعة الوسيطة صخر الأندسيت<sup>(١)</sup>، وهو صخر ناري دقيق الحبيبات إلا أنه يقع في مرحلة تتوسط كل من الجرانيت والبازلت. ويتميز الصخر بألوانه للمتوسطة وتتراوح نسبة ثاني أكسيد السليكون فيه من ٥٢ إلى ٦٦ ٪ ويتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازي والهورنبلند. وفي بعض الأحيان تكون معادن الهورنبلند والأوجيت داخل صخر الأندسيت بلورات واضحة يمكن رؤيتها بالعين المجردة. (شكل ٥٧ أ، ب)

وينتشر صخر الأندسيت في المناطق البركانية وخاصة بحلقة النار على جوانب المحيط الهادئ، وعندما يتعرض الصخر للبرودة التدريجية يصبح خشن الحبيبات ويتكون صخر آخر يعرف باسم الديوريت Diorite

وهناك مجموعة أخرى من الصخور النارية تعد وسيطة النسيج، أي تقع في مرحلة متوسطة فيما بين الصخور النارية الكاملة التبلور، وتلك الزجاجية المظهر العديمة التبلور. ويطلق على هذه المجموعة من الصخور اسم المجموعة البورفيرية Propphyritic Series. وإن معرفة الجيولوجي

(١) اكتشف هذا الصخر في بداية الأمر بمرتفعات الأنديز Andes ومنها اشتق الصخر اسمه.

بنسيج الصخور النارية من العوامل الهامة التي تساعد على تصنيفها .  
فلاحظ مثلاً أن كلا من الجرانيت والريوليت والأوبسيديان تتشابه جميعاً  
من حيث التركيب الكيميائي في حين أنها تختلف فيما بينها من حيث  
تنوع النسيج الصخري . ومن بين أهم نماذج هذه المجموعة من الصخور ما  
يلي :

#### صخر البورفير : Porphyry

وهو صخر متوسط تبلور نظراً لتكوينه بالقرب من سطح الأرض  
مع السدود والعروق النارية . ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساساً من  
الأورثوكلاز ، وهو يشبه صخر السيانيت من حيث التركيب الكيميائي .

#### صخر البورفيريت : Porphyrite

وهو صخر متوسط التبلور نظراً لتكوينه بالقرب من سطح الأرض  
مع السدود والعروق النارية . ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساساً من  
الهلاجيوكلاز ، ويشبه صخر البورفيريت من حيث التركيب الكيميائي .  
وتتراوح نسبة ثاني أكسيد السليكون فيه من ٥٢ إلى ٦٦ ٪ .

وإذا وضعنا في الاعتبار جميع الأسس المختلفة التي يمكن بواسطتها  
تصنيف مجموعات الصخور النارية ، يمكن أن نحصل على جدول يميز  
المجموعات الرئيسة للصخور النارية من حيث لاختلاف تركيبها الكيميائي  
وتنوع ألوانها واختلاف نسيجها الصخري ومدى تبلور حبيباتها<sup>(١)</sup> .  
ويتضح ذلك من دراسة للجدول الآتي :

(١) حسن صادق : الجيولوجيا - القاهرة ( ١٩٣٠ ) ص ٤٧ .

- Longwell , C.R. et al, "Outline of Physical Geology,  
N.Y.,(1947)P.33.

المصنوع الثانوي	نسبة ثاني أكسيد السيليكون	اللون	الكتل النوعي	المعادن الأساسية	مضفر جرانيت	مضفر مشطلة (وسيلة)	مضفر طينية بركانية
بحسب تركيبها الكيميائي					كاملة للتأثير	بمعدنية للتأثير	تجفيف للتأثير
المضفر الجرانيتي	أكثر من ٧٦٪	ثلاثة ألوان	٢,٦٥	كوارتز لورثوكلاز ميكا	جرانيت	للصيت	روايت
المضفر المتوسط	٥٢ - ٧٦٪	متوسطة اللون	٢,٨٠	لورثوكلاز بلاجيوكلاز مورتلاند	سباتيت ديوريت	ديوريت	تركيت انديت
المضفر القاعية	٤٠ - ٥٢٪	ثلاثة ألوان	٢,٩٠	بلاجيوكلاز لوجيت لويفين	جابر	لواوريت	بازلت
المضفر لوني القاعية	أقل من ٤٠٪	سواء ثلاثة ألوان	٣,٣٠	لوجيت لويفين	بريدويت سرينتين		أبرجيت

## ثانياً - الصخور الرسوبية

بخلاف الصخور النارية التي تتألف جميعها من مصهورات الماجما الباطنية تتكون الصخور الرسوبية من الرواسب Sediments والمفتتات الصخرية. ويقصد بتمبير الرواسب من الناحية الجيولوجية جميع المواد المفتتة على اختلاف أشكالها وتذوق مصادرها. ومن ثم قد تتألف الصخور الرسوبية من المفتتات الصخرية الحطامية Detrital or Clastic sediments أى نتيجة لتفتت الصخور النارية وغيرها من الصخور الأخرى ثم تتجمع الرواسب وتلتصم جزيئاتها وتؤدي في النهاية إلى تكوين الصخور الرسوبية الحطامية. كما قد تتألف الصخور الرسوبية من بعض الرواسب الكيميائية Chemical sediments أى نتيجة لتجمع مواد تخلقت بعد تبخر المحاليل التي كانت تحتويها من قبل، وقد تتكون الصخور الرسوبية كذلك من بعض الرواسب العضوية Organic sediments نتيجة لتراكم مواد تخلقت من بقايا النباتات والحيوانات<sup>(١)</sup>.

ويحسن قبل دراسة الأشكال التي تظهر عليها الصخور الرسوبية في الطبيعة وتصنيفها إلى مجموعات مختلفة أن نشير أولاً إلى كيفية تكوين الصخور الرسوبية وعمليات ترسيب مفتتاتها وموادها، والبيئات الترسيبية أو الطبيعية التي تترسب فيها تلك الفتتات وأثر ذلك في تنوع أشكال الصخور الرسوبية وتعدد مجموعاتها.

---

(1) Stockes, W. L., " Introduction to geology " , N.J., (1968).

## تكوين الصخور الرسوبية وعملية ترسيب مفتقاتها الصخرية

### Sedimentation or Deposition

يطلق على العمليات التي تؤدي إلى تكوين الصخور الرسوبية اسم عملية الترسيب، ولكي تتم هذه العملية ينبغي أن يتوفر ما يلي:

(أ) المواد والمفتقات التي ستعرض للترسيب.

(ب) العوامل المختلفة التي تقوم بعملية نقل المواد من مناطق نشأتها الأولى إلى المناطق التي تترسب فيها.

(ج) القاع أو المواقع أو الحيز الذي ستجتمع فوقه المفتقات.

(د) تماسك المفتقات وامتزاجها بمادة لاحمة حتى تظهر المفتقات في النهاية على شكل طبقة أو طبقات من الصخور الرسوبية.

(هـ) الزمن اللازم لإتمام هذه العمليات.

وكما تبين من قبل تتنوع مصادر المواد والمفتقات المعرضة لعمليات الترسيب، ويمثل المصدر الأصلي في مفتقات كتل الصخور النارية التي تتحطم إلى فتات صغيرة الحجم بفعل عوامل التجوية والتعرية، وبمساعدة عوامل النقل المختلفة (الأنهار والجليد والرياح والبحار والجانبية الأرضية) تنقل هذه المفتقات ثم تتجمع وتلتحم أجزاء بعضها ببعض الآخر، وتؤدي في النهاية إلى تكوين الصخور الرسوبية، ولكن قد تتفتت كذلك الصخور الرسوبية، بل والمتحولة من جديد بفعل عوامل التجوية والتعرية، وتمر المفتقات بنفس الدورة السابقة الذكر لتكون في النهاية صخوراً رسوبية جديدة قد يختلف نسيجها وإشكالها عن الصخور الأصلية التي تفتت منها.

وقد يتمثل مصدر المواد والمفتقات في الرواسب الكيميائية التي تتجمع بعد تبخر المياه التي كانت تحتويها من قبل. ومن بين أمثلة ذلك ترسيب الأملاح فوق أرضية المستنقعات بعد تبخر المياه وخاصة في المناطق المنخفضة، وتجمع المدرجات السليكية والجيرية حول فوهات الانفورات الحارة بعد

تبخر المياه. هذا إلى جانب تجمع مواد ورواسب عضوية، كما هو الحال بالنسبة لطبقات الفحم التي كانت أصلاً أشجاراً وغابات اندثرت وانطمرت تحت الرواسب، وكذلك تكوين الطبقات الجيرية العضوية فوق أرضية البحار والمحيطات تبعاً لتراكم قشور الحيوانات البحرية وهياكلها الجيرية والسليكية. ويلاحظ بأن بعض هذه المواد قد تتجمع في مكانها *In Situ* ولكن ينقل معظمها بواسطة عوامل النقل المختلفة إلى مناطق جديدة تتجمع فيها الرواسب. وعلى سبيل المثال تساعد الجاذبية الأرضية على نقل المفتتات الصخرية التي تتحطم عند أعالي الحافات الصخرية (بفعل التجوية وعوامل التعرية)، وتتجمع هذه المفتتات تحت أقدام المرتفعات. وقد تتراكم فوق بعضها البعض وتلتحم جزئيات امسعات الصخرية بمادة لاحمة ما، ثم تكون طبقة أو طبقات من الصخور الرسوبية الحطامية. كما تعمل المجارى النهرية على نقل المفتتات والرواسب من مناطق أعالي الأحواض النهرية، وقد تتجمع هذه المفتتات لتكون طبقات رسوبية على شكل غطاءات للسفح الفيضي أو طبقات إرسابية دلتاوية، وطبقات أخرى تساعد في بناء المدرجات النهرية. وفوق أرضية البحار والمحيطات وبفعل الأمواج والتيارات البحرية، وانحدار قاع المحيط، واندفاع الرواسب العالقة بالمياه من أعلى إلى أسفل، تتجمع المواد والمفتتات على شكل طبقات رسوبية قد يكون بعضها من أصل حطامى وبعضها الآخر من أصل عضوى. ويختلف سمك كل طبقة تبعاً لمدى حجم المواد التي دخلت في تركيب الطبقة الإرسابية وطول الزمن الجيولوجى الذي كانت المواد تتجمع خلاله.

وتتجمع المفتتات والمواد في بيئات ترسيبية مختلفة *Sedimentary environments or facies* يلاحظ بأن لكل من هذه البيئات الترسيبية مواد ومفتتات خاصة تتجمع فيها وتميزها عن غيرها. ومن ثم أصبح من السهل على الباحث الجيولوجى أن يدرك خصائص البيئة الترسيبية والظروف الطبيعية التي كانت سائدة إبان فترة تجمع فتات الصخر وذلك من دراسة أشكال الطبقات ومدى سمكها، وحجم المفتتات الصخرية وخصائص نسيج الصخر ونوع حفرياته.

وعلى أساس الوسط التي تجمعت فيه المواد (سواء أكان ذلك فوق سطح الأرض أو أرضية البحار والمحيطات) وعوامل النقل والإرساب (مثل الرياح والأمواج والجاري النهرية والتلاجات) والخصائص العامة للصخر يمكن تمييز مجموعات البيئات الترسيبية الآتية:

#### أولاً: البيئات القارية : Continental environments

ويقصد بذلك تراكم المفتتات والرواسب في بيئات ترسيبية مختلفة فوق سطح الأرض. ويمكن أن يميز الباحث بيئات ترسيبية ثانوية متعددة من بينها:

أ - بيئة صحراوية: Desert facies وتكون رواسب الصخر في هذه الحالة من الطين الرملى والحصى ورمال الكثبان الرملية والأملاح التي تبقى بعد تبخر المحاليل التي كانت فيها من قبل.

ب - بيئة جليدية: Glacial facies وتتألف رواسب الصخر في هذه البيئة من مفتتات صخرية مختلفة الحجم والشكل وتتميز بأنها حادة الحواف ومتنوعة المصادر، ومن أمثلتها رواسب الطفل الجليدى.

ج - بيئة نهريّة: Fluvial facies وتختلف الرواسب الصخرية المتجمعة في هذه البيئة في حوض النهر من جزء إلى آخر. ففي القسم الأعلى من حوض النهر تتميز المفتتات الإرسابية بخشونتها وكبر حجمها في حين تتميز بدقة حجمها من القسم الأدنى من حوض النهر، وتساهم الرواسب هنا في بناء الدلتاوات والمدرجات النهرية وأرضية السهل الفيضى.

د - بيئة المستنقعات: Paludal or Swamp facies وتتألف رواسب الصخر هنا من الطين والغرين والرمال ، ويغلب على الرواسب اللون الأسود نتيجة لكثرة المواد العضوية في الصخر، كما قد يتمثل في الصخر رواسب حديدية فقيرة تعرف باسم حديد المستنقعات Bog iron ore .

### ثانياً : البيئات المختلطة والانتقالية

#### Mixed and transitional environments

قد تتغير البيئة الطبيعية التي كانت سائدة إبان تراكم المفتتات الإرسابية للصخور من فترة إلى أخرى وعلى سبيل المثال قد تتجمع رواسب ومفتتات هوائية صحراوية تتألف بدورها من الحصى والحصباء والرمال ثم قد تتغير ظروف البيئة وتعرض لفترة زمنية يتميز المناخ فيها بالرطوبة وغزارة الأمطار وعلى ذلك تتجمع رواسب جديدة من الطين والغرين. وبعد فترة زمنية أخرى قد يسود المناخ الجاف من جديد في البيئة وتتجمع المفتتات الصخرية تحت ظروف البيئة الصحراوية، وتتألف من المفتتات الصخرية المختلطة، وهكذا تختلف أجزاء الطبقة الصخرية الواحدة من جزء إلى آخر تبعاً للبيئة الترسيبية التي تجمعت خلالها الرواسب المختلفة. وعند دراسة مثل هذه الطبقات الجيولوجية غير المتجانسة يترك الباحث بأن البيئة الترسيبية للصخور لم تكن ثابتة بل كانت بيئة متغيرة.

ومن بين هذه البيئات المختلطة، البيئة الشاطئية Littoral facies، حيث تتأثر هذه البيئة بالانحسار البحري خلال فترة ما، ثم بانفجارها بمياه البحر خلال فترة أخرى، وعلى ذلك تتنوع الرواسب وتصبح ضمن نطاق البيئات الترسيبية المختلطة. وينطبق نفس الحال على بيئة اللاجون (البحيرات الساحلية) Lagoonal facies والبيئات الدلتاوية Deltic facies، حيث تتكون التكوينات الجيولوجية لهذه البيئات من طبقات غير متجانسة بعضها من أصل قاري وبعضها الآخر من أصل بحري، وذلك تبعاً لتذبذب مستوى سطح البحر وتغير البيئة الترسيبية من فترة زمنية إلى أخرى.

#### ثالثاً : البيئات البحرية : Marin environments

ويقصد بذلك تجمع المفتتات والرواسب المختلفة (الطبيعية والعضوية) فوق أرضية البحار والمحيطات، وقد تبين من الدراسات الجيولوجية المختلفة أن الرواسب والمفتتات فوق أرضية البحار والمحيطات تترتب من حيث اختلاف أحجامها بحسب الأعماق. وعلى هذا الأساس يمكن أن نميز البيئات الكبرى الآتية :

أ - البيئة البحرية الضحلة : Neritic Facies وتضم الرواسب البحرية التي تتجمع فوق أرضية البحار ابتداء من خط الساحل حتى عمق ٢٠٠ متر ، أي فوق أرضية الرفارف القارية Continental shelves وتتوزع الرواسب في هذه المنطقة تنوعاً كبيراً تبعاً لتعدد العوامل المختلفة التي تؤثر في كمية الرواسب وأشكالها ومصادرها وطرائق إرسائها. وتختلط في هذه البيئة البحرية الرواسب القارية بتلك البحرية الناشئة . وتتميز الرواسب بخشونتها ، ويقل حجم الحبيبات الصخرية مائة كلما بعدنا عن خط الساحل. وتتألف الرواسب هنا من الحصى والحصى المستدير المفلطح الشكل ومن الرمال والأصداف وهياكل بعض الحيوانات البحرية<sup>(١)</sup>.

#### ب - البيئات البحرية المتوسطة والهائلة العمق :

##### Bathy-Pelagic and Abysso-pelagic facies

تشمل البيئة البحرية المتوسطة العمق تلك الأعماق التي تنحصر بين نهاية الرفارف القاري وأطراف المنحدر القاري أو بمعنى آخر فيما بين خط عمق ٢٠٠ متر حتى خط عمق ١٢٠٠ متر تقريباً . أما البيئة البحرية الهائلة العمق فتشمل أرضية المحيطات التي تقع على أعماق أبعد من ١٢٠٠ متر.

ولفوق هذه المساحات الهائلة الأبعاد والعمق من أرضية المحيطات تتراكم مجموعات متنوعة من الرواسب الدقيقة الحجم يطلق عليها اسم «الأوز» Ooze، وتختلف كل مجموعة من هذه الرواسب عن الأخرى تبعاً لاختلاف الأعماق وتنوع البيئة الترسيبية. ويمكن أن نميز مجموعتين رئيسيتين من الرواسب تبعاً لتنوع مصادرها وهما :

أ - الرواسب العضوية : Organic deposits وتشمل رواسب الأوز الجيري Calcareous Ooze الذي يتألف عادة من تراكم القشور والهياكل الجيرية لكائنات الجلوبجرينا والبتروبود والكوكوايث. ورواسب الأوز السليكي Siliceous Ooze الذي يتألف من تراكم القشور والهياكل السليكية لكائنات الدياتوم والرايوليرا.

ب - الرواسب غير العضوية: Inorganic deposits ويقصد بذلك كل الرواسب التي تتجمع فوق أرضية البحار العميقة والتي ليست من أصل عضوي. وتبعاً لبعده هذه الرواسب عن خط الساحل وأنها تتكون تبعاً لتجمع المواد غير العضوية العالقة بمياه البحر فقد تميزت بدقة حجم حبيباتها، ويغلب عليها الصفة الغرينية أو الصلصالية. وتعد رواسب الصلصال الأحمر Red clay أو الغبار البركاني من أهم رواسب هذه المجموعة وأكثرها انتشاراً.

ويوضح البيان الآتي تنوع الرواسب البحرية في البيئات المتوسطة والهائلة العمق ومدى الأعماق التي تتجمع عادة عندها.

<u>نوع رواسب الأوز</u>	<u>العمق بالمتر</u>
الأوز البتروبودي	٢٠٧٢
و الجلوبيريني	٣٦١٢
و الدياتومي	٣٩٠٠
و الراديوليري	٥٢٩٢
الصلصال الأحمر	٥٤٠٧

#### الخصائص العامة للصخور الرسوبية

#### والحالات التي توجد عليها في الطبيعة

تشكل الصخور الرسوبية بخصائص هامة تميزها عن غيرها من الصخور الأخرى، وتتخلص هذه الخصائص فيما يلي:

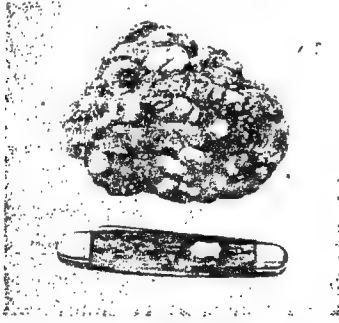
#### ١- النسيج الصخري: Texture

ويقصد بذلك المظهر الطبيعي الخارجي للصخور، وتقدير حجم الحبيبات الصخرية وأشكالها وترتيبها. ويمكن أن نميز نسيجين صخريين مختلفين في الصخور الرسوبية هما:

# ١. نسيج الصخور الرسوبية الحطامية الطبيعية : Clastic Texture

يتضح من هذا التعبير أن النسيج الحطامي يرتبط فى نفس الوقت بالصخور الرسوبية الحطامية (الميكانيكية) ، وتبعاً لمدى اندماج الحبيبات المختلفة وتداخل بعضها مع البعض الآخر. ويتأثر تكوين هذا النسيج الخاص وفقاً لاختلاف أشكال الحبيبات الصخرية وتنوع أحجامها. وعلى سبيل المثال نلاحظ بأن الطبقة الصخرية الرسوبية التى تتألف من الحصى والحصباء والرمال تظهر على شكل طبقة صخرية خشنة ومحبة السطح وحبيباتها غير منتظمة الترتيب Rubble like Texture . ومن ثم يطلق على نسيج مثل هذه الطبقات التى تتألف من حبيبات متجمعة ومتماسكة تعبير النسيج الكونجلومراتى ( onglomeratu texture ) وينال صحر المجمعات فى هذه الحالة من حبيبات كبيرة مستديرة الشكل مبعثرة فى مادة لاحمة تتألف من ذرات دقيقة الحجم ( شكل ٥٥ )

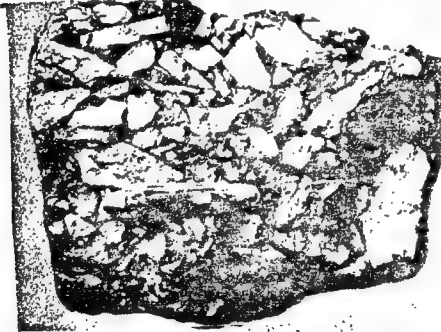
أما الطبقة الصخرية التى تتألف من حبيبات صغيرة مستديرة من الرمال المتجانسة فقط، فيظهر سطحها وكأنه مغطى بحبيبات من السكر ومن ثم يطلق على مثل هذا النسيج الصخرى اسم النسيج السكرى Sug ary texture



( شكل ٥٥ ) عينة من صخر للمجمعات ( الكونجلوميرات ) لاحظ الحبيبات

الكبيرة الحجم للمستديرة الشكل المتماسكة بواسطة الرمال

ويلاحظ بأن عوامل النقل والإرساب التي تعمل على تكوين الصخور الرسوبية تساهم بدورها في تشكيل النسيج الصخري، فتميز الرواسب الجليدية بأن حبيباتها غير مثسقة وغير طباقية وغير متجانسة وتنتمي إلى مصادر متعددة أو تكون الحبيبات الصخرية مشتقة من عديد من الصخور التي تظهر في مناطق بعيدة جداً عن المناطق التي تتجمع فيها الرواسب الجليدية، كما أن حواف الحبيبات الصخرية تكون حادة وخشنة ومشطوفة ومقشوفة الأطراف وذلك بسبب تعرضها لفعل عمليات التجمد والإذهار freezing and thawing ويطلق على نسيج مثل هذه الطبقات الإرسابية تعبير النسيج البريشي Breccial texture (شكل ٥٦) وعلى هذا الأساس يتضح أن حجم الحبيبات الصخرية وتنوع أشكالها وطبيعة نجانسها، هي أهم العوامل التي تشكل النسيج الصخري للصخور الرسوبية الحطامية. ويلاحظ بأنه كلما كانت الحبيبات الصخرية صغيرة الحجم تزداد درجة استدارتها في حين يلاحظ بأن الحبيبات



شكل ٥٦ ) قطعة من صخر البريشيا تتألف من حبيبات الصوان الفاتحة اللون والمقشوفة الجوانب ومتماسكة بمواد سليكية لاحمة.

الصخرية الخشنة المقشورة الأطراف غالباً ما تكون كبيرة الحجم. ورجح وتتوارث مقياسه للجمهور باسمه Wentworth Scale لتمييز الحبيبات الصخرية بحسب اختلاف أحجامها، وأثر ذلك في تصنيف مجموعات الصخور الحطامية، ويخلص مقياس وتتوارث في الجدول الآتي: (١).

الأرقام النسبية بين الحبيبات		حجم الحبيبات	
		(نصف القطر - ملم)	
٤	Bouldér	الجلاميد	٢٥٦
١٦	Cobble	الحصى	٦٤
٢	Pebble	الحصباء	٤
٣٢	Granule	ثرات حبيبية	٢
١٦	Sand	رمال	١٦/١
Dust الغبار والتراب		الفرين والصلصال	٢٥٦/١

#### ب نسيج الصخور الرسوبية غير الحطامية: Non-clastic texture

يختلف نسيج هذه المجموعة من الصخور عن ذلك في الصخور الحطامية حيث إن الحبيبات الصخرية هنا دقيقة الحجم وكثيراً ما تتماسك الحبيبات الصخرية مع بعضها البعض بشدة، كما إنها في جملتها أعلى تجانساً من حبيبات الصخور الكانديكية الحطامية، حتى أنها تظهر بنفس المظهر العام الذي تظهر به كثير من الصخور النارية. ومن ثم يعرف نسيج معظم هذه المجموعة من الصخور باسم النسيج البلوري - Crystalline texture. وحيث يختلف حجم الحبيبات من صغر إلى أكبر، فإنه يمكن أن نميز كذلك النسيج الصخري الدقيق الحبيبات Fine-grained، والنسيج الصخري المتوسط الحبيبات Medium grained، والنسيج الصخري الخشن الحبيبات Coarse-grained

(١) لكي نحصل على النوع الأكبر من الحبيبات نشرب نصف قطر النوع الذي قبله في الرقم للوضع بالجدول.

### تصغير الرواسب : Lithification

يقصد بعملية تصغير الرواسب أو تمجيرها ، تحويل الرواسب والمفتتات المخلفة غير المتماسكة إلى طبقة متماسكة وملتصمة الأجزاء. وتتحويل المواد والرواسب إلى صخور متماسكة بواسطة عدة طرق من أهمها:

#### أ - عملية اللحام الصخري : Cementation

يقصد بعملية اللحام الصخري امتلاء الفراغات بين حبيبات الصخور المختلفة بواسطة مواد لاصقة ، ومن بين أهم هذه المواد الأخيرة الكلستيت ، والدولوميت ، والكوارتز ، وكاسيد الحديد ، والأويل والكالسيدونى -Chalice dony والانهدريت والبيريت . وتحمل هذه المعادن اللاصقة عادة مع المياه وقد يكون بعضها مذاباً أصلاً في المياه. وعندما تنخل تلك المياه المعدنية داخل فراغات الصخر وبين حبيباته ، تترسب المواد المعدنية اللاصقة ، وتعمل على تماسك الصخر والتحام جزيئاته بعضها ببعض الآخر. وعلى هذا الأساس يمكن القول بأنه كلما كانت الفراغات الفاصلة بين حبيبات الصخر كبيرة ساعد ذلك على سهولة انتقال المياه المعدنية وسرعة إنجاز عملية اللحام الصخري كما هو الحال في الصخور الخشنة الحبيبات (الحجر الرملى الخشن الحبيبات والكونجلومرات). في حين أنه إذا كانت الفراغات الصخرية صغيرة يؤدي ذلك إلى صعوبة انتقال المياه المعدنية خلالها ، وبطء عملية اللحام الصخري كما هو الحال بالنسبة للصخور الدقيقة الحبيبات (الطين والصلصال).

#### ب - التماسك Compaction والتجفيف الصخري Desiccation

في حالة الرواسب الدقيقة الحبيبات مثل رواسب الصلصال والسيلا Silt ، حيث تكون الفراغات الصخرية دقيقة الحجم جداً يصبح من الصعب تغلغل المياه داخل فراغات الحبيبات الصخرية. ولكن مع ذلك قد تنجح بعض المواد المعدنية اللاصقة في أن تحتل مواقع لها داخل الفراغات الصخرية ، وتتم عملية تحويل الرواسب إلى كتل صخرية مندمجة عن

طريق عمليتي التماسك Compaction والتجفيف الصخري Desiccation

وفى عملية التماسك يقل حجم الفراغات الصخرية تبعاً للضغط الواقع على جزيئات الصخر بفعل الرواسب الصخرية التى تجمعت فوقها. ونتيجة لاستمرار عملية الانضغاط الصخري يقل سمك الطبقة الإرسابية عما كانت عليه من قبل، ويقدر الباحثون بأنه إذا تعرضت رواسب تتألف حبيباتها من الصلصال وتقع تحت عمق ٣٠٠ قدم من الرواسب الأخرى فإن هذه الرواسب تنضغط وتتماسك أجزائها وتلتحم مع بعضها البعض بفعل الضغط الواقع عليها كما يصبح سمكها نحو ٦٠ ٪ من مثل سمكها السابق لعملية الانضغاط والتماسك.

ويقصد بعملية التجفيف الصخري تغلغل المياه فى الرواسب المسامية المفككة، ثم انسحاب المياه من الرواسب ثانية أو قد تتعرض للتبخر، ومن ثم يصبح سطح الرواسب الرطب معرضاً لعملية التجفيف بمساعدة الهواء ، وقد يؤدي ذلك إلى تماسك جزيئات الصخر والتحام بعضها ببعض الآخر.

### ٣. طباقية الصخور الرسوبية : Bedding

أ - الطبقات الصخرية : يتضح مما سبق أن الرواسب والمفتتات الصخرية قد تتجمع وتلتحم مع بعضها البعض لتكون فى النهاية طبقة من الصخور الرسوبية . وقد تستمر عملية الإرساب ويؤدي ذلك إلى تكوين صخور رسوبية هائلة السمك مكونة من طبقات متعاقبة بعضها فوق البعض الآخر. ويمكن أن نحدد الطبقة الصخرية بأنها سمك ما من الصخور، متجانس الأجزاء إلى حد كبير ويميزه عما يقع تحته أو فوق سطحان متوازيان هما أسطح الطبقات Bedding Planes

ويختلف سمك الطبقات الجيولوجية من طبقة كبيرة السمك (يزيد سمكها عن مئات أو آلاف الأمتار) إلى أخرى رقيقة السمك ( لا يتعدى سمكها بضعة سنتيمترات ) أو صفائحية رقيقة laminated كطبقات الصلصال الصفائحي . ويعزى لاختلاف سمك الطبقات إلى خصائص

عملية الإرساب ، وحجم الرواسب المتجمعة، والبيئة الترسيبية التي تجمعت إبانها الرواسب. وقد يختلف نسيج الطبقة ومظهرها الخارجى العام ليس فقط عن الطبقات الأخرى الواقعة إلى أعلى أو إلى أسفل منها ، بل كذلك بين الأجزاء المختلفة للطبقة الواحدة. فعندما تتجمع رواسب الطبقة الإرسابية فى بيئة بحرية، يتبين أن القسم الأوسط من هذه الطبقة الذى كان يمثل رواسب المياه العميقة من البحر الجيولوجى القديم يتميز بتجانسه ودقة حجم حبيباته، فى حين أن أطراف نفس هذه الطبقة والتي تتألف بدورها من الرواسب البحرية القارية عند سواحل البحر الجيولوجى القديم تتميز بعدم تجانسها وخشونة حبيباتها.

وفى كثير من الحالات يمكن تمييز أسطح الطبقات لمسافات طويلة، ولكن فى بعض الأحيان قد تتلاشى هذه الأسطح تدريجياً وتتشعب الطبقة الصخرية الواحدة إلى عدة شعب طباقية ثانوية وتتداخل مع طبقات الصخور الأخرى وتعرف هذه الظاهرة بمعنى التداخل الطبقي Intercalation

#### ب - أشكال الطبقات الصخرية:

تظهر مجموعات عديدة من طبقات الصخر الرسوبية على شكل طبقات أفقية أو بمعنى آخر تمتد أسطح الطبقات مع الامتداد الأفقى، ولكن تظهر مجموعات أخرى من الطبقات الرسوبية على شكل طبقات مائلة ميلاً بسيطاً، أو ميلاً شديداً ، أو على شكل ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ويعزى السبب فى ذلك إلى عاملين رئيسيين هما :

١- شكل إمتداد السطح الأسمى الذى تراكمت فوقه الرواسب فإذا كان هذا السطح أفقى الإمتداد تماماً ينجم عن ذلك تكوين طبقات أفقية فى حين أنه إذا كان له انحدار ما يؤدى ذلك إلى تكوين طبقات مائلة .

٢-مدى تأثير الطبقات الرسوبية بحركات الثنى والطي التكتونية والتي قد تشكل الطبقات التي كانت أفقية أصلاً بأنماط مختلفة من الثنيات الصخرية (شكل ٥٧)



(أ)

## جـ ميل الطبقات Dip

### ومضرب الطبقات Strike



(ب)



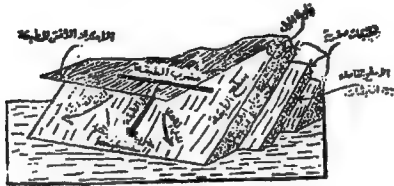
(ج)

فى حالة الطبقات الأفقية الامتداد  
تساوى درجة الميل، صفر، حيث يمتد ميل  
الطبقة مع نفس الامتداد الأفقى للطبقة.  
ولكن قد تعمل الطبقات بدرجات مختلفة  
عن الامتداد الأفقى للطبقة وتعرف الزاوية  
المحصورة من مستوى الطبقة وامتدادها  
الأفقى باسم ميل الطبقة Dip وتندرج  
زاوية ميل الطبقة Amount or angle of  
dip من صفر أى طبقة أفقية تماماً إلى ٩٠  
أى طبقة رأسية تماماً.

( شكل ٥٧ ) طبقات وسوية فى اللون  
مختلفة (أ) أفقية (ب) مائلة (جـ) ملتوية

وتقاس هذه الزاوية باستخدام آلة خاصة بسيطة تعرف باسم الكلينو  
متر Clinometer، وعند قياس ميل الطبقة يجب أن يوضع الكلينو متر فى  
اتجاه عمودى على الامتداد العام لمضرب الطبقات (الخط العمودى على  
ميل الطبقة)، ومن ثم يمكن أن نحدد اتجاه الميل . Direction of dip

وإذا قيست زاوية ميل الطبقة فى اتجاه غير عمودى تماماً على مضرب  
الطبقات فنحصل على نتيجة ليست صحيحة بالنسبة لتحديد ميل الطبقة.  
ويطلق على ميل الطبقة فى هذه الحالة الأخيرة اسم الميل الظاهرى  
Apparent dip تمييزاً له عن الميل الحقيقى للطبقة True dip (شكل ٥٨).  
ويطلق على الخط الوهمى العمودى على الطبقة اسم خط الظهور أو  
مضرب الطبقات Strike line ويعتبر هذا الخط الوهمى من المناطق  
الضعيفة جيولوجياً فى الصخر حيث تتشقق الصخور وتتكسر على طول  
امتداد هذا الخط. ويجب أن نضع فى الاعتبار بأنه يمكن إنشاء مثبات بل  
الآلاف من خطوط الظهور للطبقة الواحدة حيث أن كلا منها ما هو إلا اتجاه  
أى خط عمودى ممتدا على ميل الطبقة.



( شكل ٥٨ ) رسم تخطيطي يوضح الميل الحقيقي والميل الظاهري

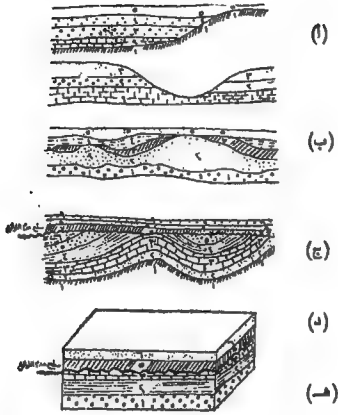
للطبقة ومضرب الطبقة

#### ٤. الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة :

##### Conformable and un-conformable beds

خلال عمليات تكوين الطبقات الإرسابية تتجمع الطبقات الأقدم عمراً في البداية فوق السطح الأصلي الذي تتم فوقه عملية الترسيب، ثم تتجمع الرواسب الأحدث عمراً فوق أسطح الطبقات الإرسابية التي ترسبت قبلها . ومن ثم أدرك الجيولوجيون بأن القاعدة العامة في عمليات الإرساب هو أن كل طبقة تعد أحدث عمراً من الطبقة التي تقع تحتها وأقدم عمراً من الطبقة الأخرى التي تقع فوقها، وعرف هذا القانون باسم قانون تماقب الطبقات Law of Superposition كما يطلق على الطبقات في هذه الحالة بأنها طبقات متوافقة.

وينبغي أن نضع في الاعتبار بأن الطبقات المتوافقة لا يقتصر شئها في حالة الطبقات الأفقية فقط، بل قد تتعرض هذه الطبقات الأخيرة لحركات التثني والطي، وقد تظهر على شكل ثنيات مقعرة وأخرى محدبة، ومع ذلك تظل تحتفظ بتوافق طبقاتها. (انظر (شكل ٥٩) ١).



(شكل ٥٩) أشكال مخلفة لطبقات غير متوافقة

ويساعد الباحث في تصديق الأزمنة الجيولوجية المختلفة التي تكونت خلالها كل من هذه الطبقات دراسته للحفريات التي قد تتمثل فيها ومتابعته لتطور نموها وتفرع عائلاتها المختلفة.

وقد يصادف الباحث في بعض الأحيان طبقات رسوبية غير متوافقة أو بمعنى آخر لا تترتب طبقاتها ترتيباً منتظماً من أسفل إلى أعلى بحسب العمر الجيولوجي. وقد يعزى عدم توافق الطبقات إلى عوامل متعددة من بينها:

١- ترسيب مواد الطبقات الرسوبية فوق سطح مائل كأن يكون انحدار حوض جيولوجي قديم، ومن ثم تتجمع الرواسب الأولى القديمة في المناطق السفلى العميقة، في حين يتراكم فوق الأجزاء العليا الضحلة، الصخور الأحدث عمراً. ويتضح من دراسة (شكل ٥٩ أ) أن الباحث قد

يصانف في قسم من الصخور أقدم الطبقات (طبقة رقم ١) ثم يليها مباشرة طبقة رقم ٤ دون أن يمر ببقية الطبقات ، في حين يصانف في موقع آخر جميع الطبقات متوافقة الترتيب.

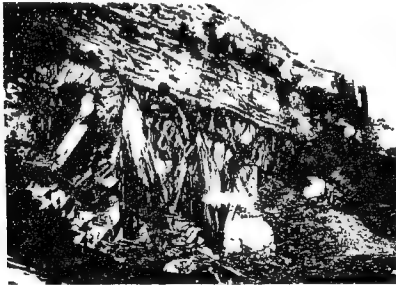
٢- في المناطق التي تتأثر بعمليات تذبذب مستوى سطح البحر أو باختلاف الظروف المناخية، كثيراً ما يلاحظ الباحث أن الطبقة الواحدة تختلف في تكوينها من جزء إلى آخر، كما يتنوع سمكها الحقيقي True thickness من مكان إلى آخر في نفس الطبقة، وأحياناً أخرى قد تتلاشى الطبقة الصخرية، ثم تبدأ تظهر من جديد في منطقة أخرى. (شكل ٥٩ ب)، ٥٩ ج) ومن ثم قد يصانف الباحث الطبقة المتقطعة في الحقل كما يظهر كذلك تنوع أجزاء الطبقة الواحدة إذا قطعت بخانق نهري ويؤدي ذلك إلى ظهور الطبقات غير المتوافقة.

٣- إذا تكونت طبقات رسوبية ثم تعرضت لعمليات الرفع التكتونية، وظهرت على السطح وتشكلت بفعل عوامل التعرية التي أزالته ، ، ، العليا من هذه الطبقات، ثم تعرضت المنطقة بعد ذلك لفترة تكونت خلالها طبقات إرسابية جديدة ترسبت فوق الطبقات الإرسابية الأولى - بعد أن أزيل منها بعض أجزائها بفعل عوامل التعرية - فينجم عن ذلك نماذج مختلفة من أشكال عدم توافق الطبقات. ؛ (شكل ٥٩ د) فقد يصانف الباحث في موقع ما جميع الطبقات الإرسابية متعاقبة فوق بعضها البعض وتامة التوافق، في حين قد تختلف بعض الطبقات في موقع آخر، ويؤدي ذلك إلى تكوين الطبقات غير المتوافقة ويطلق على الحد الفاصل بين التكوينات الصخرية غير المتوافقة تعبير « سطح عدم التوافق » Plane of unconformity .

٤- لا يقتصر حدوث الطبقات غير المتوافقة على الطبقات الرسوبية التي تعرضت للثني والطي، بل قد تتمثل كذلك في تلك الطبقات الأفقية التي لم تتأثر بمثل هذه الحركات التكتونية، وعلى سبيل المثال إذا تكونت طبقات إرسابية تحت سطح المحيط، ثم انحصرت عنها مياه المحيط نتيجة لانخفاض مستوى البحر ، وبالتالي قد تعمل عوامل التعرية المختلفة على إزالة بعض أجزاء من الطبقات العليا لهذه التكوينات البحرية، ثم بعد ذلك

تأتى فترة جديدة للإرساب وتتكون طبقات رسوبية جديدة (سواء فوق سطح الأرض أو فى أرضية المحيط) تترسب فوق الطبقات الرسوبية القديمة. وهكذا تكون الطبقات الصخرية غيرمتوافقة فى بعض المواقع، ومتوافقة تماماً فى مواقع أخرى (شكل ٥٩ هـ)

وكثيراً ما تشاهد الطبقات الصخرية غير المتوافقة فى الحقل ومن بين أجمل أمثلتها عدم توافق طبقات ما قبل الكامبرى مع طبقات العصر الديفونى فى منطقة بوكس كانيون Box Canyon بالقرب من أوراي-Ou-ray فى كولورادو. ويتضح من دراسة هذه الحالة أن صخور ما قبل الكامبرى تعرضت لحركات تكتونية أدت إلى ميل الطبقات الصخرية بشدة بحيث أصبح الميل قريباً من الزاوية القائمة ثم ترسبت صخور العصر الديفونى فوق صخور ما قبل الكامبرى مباشرة بعد إزالة التكوينات التى كانت واقعة فيما بينهما بفعل عوامل التعرية. وتتكرر نفس الحالة فى مجموعات تكوينات الحجر الجيري الكربونى غير المتوافق مع الأردواز السليتى فى منطقة أوكو وود بيوركشير- إنجلترا (شكل ٦٠)



(شكل ٦٠) نموذج لطبقات غيرمتوافقة

• خصائص أخرى ثانوية تميز الصخور الرسوبية :

١- التطابق الكاذب: False-bedding

في بعض الأحيان تتميز الطبقات الصخرية بالتطابق الكاذب حيث لا يدل مظهر الطبقات الخارجى على تتابع حثوث الطبقات كما قد تنقسم الطبقة الواحدة إلى عدة شعب ولكل منها مظهر خارجى خاص. ويتكون التطابق الكاذب في حالة تعرض رواسب الصخور للتشكيل بواسطة تيارات مائية مختلفة من حيث الشدة والاتجاه. ومن ثم تظهر الطبقة الصخرية الواحدة كأنها مكونة من عشرات من طبقات لكل منها موجات صخرية مختلفة. (شكل ٦١)



( شكل ٦١ ) التطابق الكاذب في صخور الحجر الرملى الأيوسينى فى جنوب شرق مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية

ب . علامات التماوج : Ripple marks

يشاهد أحيانا فوق أسطح الصخور الرسوبية موجات منتظمة الأشكال، إن دلت على شئ فإنما تدل على الظروف التى أدت إلى تكوينها.

فعدمها تنحصر مياه البحر عن الساحل ( في المناطق التي تتعرض للمد والجزر مثلاً ) تترك على سطح الرمال والرواسب علامات التماوج، وقد تتعرض الرواسب للتماسك والتجفيف وتحفظ بهذا السطح المميز لفترة طويلة من الزمن الجيولوجي (شكل ٦٢) وتعمل الرياح في الصحاري الحارة كذلك على تشكيل أجزاء واسعة من السهول الرملية يمثل هذه العلامات المنتظمة الشكل.



( شكل ٦٢ ) علامات التماوج فوق صفوح الكوارتزيت (صخور متحولة عن الصفوح الرملية) في منطقة من تلال بارابر بالقرب من ويسكونسين بالولايات المتحدة.

#### ج - طابع نقط الأمطار Rain splash cast

تهدأ لسقوط الأمطار بشدة فوق بعض الصخور الرسوبية، قد تحفر الصخور بثقوب مميزة كما قد تشقق بحوض طويلة سطحية بفعل المياه الجارية، وعندما يجف الصخر، قد يحتفظ بطابع نقط الأمطار وحوض المياه الجارية التي تشكل السطح الخارجي للصخر، ويطلق على مثل هذا الصخر تعبير التركيب الجدولي Rill Structure

#### د - التشققات الطينية أو الشمسية: Mud or Sun Cracks

عندما تتعرض أسطح الطبقات الطينية للأشعة الشمسية القوية سرعان ما تتبخر المياه وتقل رطوبة الرواسب الطينية، وينجم عن جفاف

الطين انكماشه وتشققه، ويلاحظ بأن الطين يتشقق عادة في أشكال سداسية الجوانب كمثال شكل خلايا النحل. وفي مرحلة متأخرة قد تمتلأ الفراغات السداسية الشكل الفاصلة بين الطين بواسطة الرمل ومن ثم تعمل هذه الأخيرة كمادة لاحمة تمتفظ بالشكل الظاهري لسطح الطين لفترة طويلة من الزمن. وإذا امتلأت الفراغات السداسية غير المنتظمة الشكل برواسب جييرية لاحمة قد تنفصل أجزاء الطين بعضها عن البعض الآخر وتصبح على شكل حواجز بارزة، ومن ثم يطلق على الصخر في هذه الحال تعبير الصخر المفصول (شكل ٦٣). Septaria Stone.



شكل ٦٣ : التشققات الطينية في ارضية دلتا نهر كلورادو

وإذا تعرضت هذه التشققات الطينية لفرشات جديدة من الرواسب تعمل على تغطيتها، فقد تحتفظ هذه التشققات بأشكالها لفترة طويلة جيولوجيا . أما إذا تعرضت هذه التشققات لأمطار غزيرة أو لرياح شديدة فسرعان ماتتلاشى أو يزول مظهرها، وتعرض أجزاء الصخر الطيني من جديد لعوامل التعرية.

#### هـ العقيدات الصخرية: Nodules

قد يلاحظ في بعض الطبقات الرسوبية وجود عقيدات صخرية مستديرة الشكل مبعثرة داخل الصخر ويختلف تركيبه الكيميائي عن

الصخور المنفونة فيها . كما قد تتمثل في بعض الأحيان على شكل خطوط متقطعة متوازية الامتداد العام لأسطح الطبقات. وتعزى نشأة هذه العقيدات الصخرية إلى تسرب مياه معدنية داخل الصخر، وقد تتجمع المياه حول نواة صغيرة الحجم لأجزاء من بقايا نباتات وهياكل حيوانات. وعندما تتبخر المياه تتراكم الأملاح والمعادن اللاصقة وتعمل على تكوين العقد الصخرية المبعثرة في الصخور الإرسابية، وتختلف أشكال العقيدات الصخرية كما تعتمد معادنها تبعاً لظروف نشأتها، ويمكن أن نميز منها العقيدات الصخرية الكروية Nodules ، والأخرى البيضاوية Concretions ، ومجموعة ثالثة غير منتظمة الشكل Geodes ( شكل ٦٦-١ ) .

#### و. الحفريات : Fossils

يقصد بالحفريات كل مادة تتكون من أصل عضوي سواء اكانت نباتية أو حيوانية، وبلفت لفترة طويلة في الصخر، واستطاعت أن تحتفظ بنفسها أو صورتها أو طابعها أو بأشكال الأجزاء الصلبة منها في الصخر على مر الزمن. ومن ثم يساعد على احتفاظ الحفريات في الصخور أن تدفن البقايا العضوية بعد هلاكها مباشرة في الصخر حتى لا تتعرض لعوامل التعرية ، كما يحسن أن يكون لهذه البقايا العضوية أجزاء صلبة تقاوم عمليات التفكك والتحلل.

وإذا كانت الصخور النارية لا تتضمن أى حفريات تبعاً لظروف نشأتها في باطن الأرض فإن الصخور الرسوبية قد تحتوى على حفريات ، أما الصخور المتحولة فقد تحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل رسوبي ولا تحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل ناري . وتساهم الصخور الحاوية على الحفريات Fossiliferous beds على تحديد البنية الترسيبية التي تكونت خلالها تلك الطبقات ومعرفة الأزمنة الجيولوجية التي ترسبت إبانها، وتقدير مواقع تلك الطبقات بالنسبة لبقية المقياس الزمني الجيولوجي الطويل.

## تصنيف الصخور الرسوبية وبعض

### نماذج لأنواعها المختلفة

جرى التعرف بين الجيولوجيين على تصنيف الصخور الرسوبية تبعاً لاختلاف نشأتها وظروف تكوينها إلى ثلاث مجموعات رئيسة تشمل :

١- الصخور الرسوبية الميكانيكية أو الحطامية :

#### Mechanical or Clastic Rocks

ويقصد بذلك مجموعات الصخور الرسوبية التي تتألف حبيباتها تبعاً لتآكل وتطعيم الصخور القديمة (مهما كان نوع نشأتها نارية أو رسوبية أو متحولة). وتساعد عمليات التجوية Weathering والتعرية Erosion على تفتيت الصخور الأصلية إلى أجزاء وحبيبات صغيرة ثم تنقل هذه الفتات بواسطة عوامل النقل المختلفة إلى أن تتجمع في النهاية وتتماسك وتتلحم أجزاء الفتات بعضها مع البعض الآخر لتكون الصخور الميكانيكية أو الحطامية في نفس مواقعها التي تفتتت منها . وفي معظم الأحيان الأخرى تتكون هذه المجموعة من الصخور في مناطق تهبط مسافات طويلة من مصدر الحبيبات الصخرية الفتتة . ومن دراسة أشكال الحبيبات الصخرية وتركيبها المعدني يمكن أن يستنتج الباحث كيفية نشأة كل مجموعة من مجموعات الصخور الرسوبية الحطامية . ومن بين أمثلة هذه المجموعة الصخور الحصى والمجمعات الصخرية ، والصخور الرملية والطينية.

#### ٢- الصخور الرسوبية الكيميائية : Chemical Rocks

تتكون هذه المجموعة من الصخور نتيجة لترسيب مركبات معدنية مختلفة بعد تبخر المحاليل المائية التي كانت مذابة فيها، ومن ثم تنتشر مثل هذه المجموعة من الصخور في المناطق التي تتعرض بشدة للملح التبخر وخاصة في الصحارى الحارة الجافة . كما قد تتراكم بعض الصخور الرسوبية الكيميائية حول فوهات الينابيع والنفورات الحارة. ومن أكثر أنواع هذه المجموعة من الصخور شيوعاً الملح والجبس وبعض

أنواع الحجر الجيري (من أصل كيميائي)، ورواسب الينابيع الحارة  
والرواسب الجيرية في الكهوف والغارات الجيرية

### ٣- الصخور الرسوبية العضوية : Organic Rocks

تتألف هذه المجموعة من الصخور من مركبات معدنية مصدرها بقايا  
الحيوانات والنباتات المختلفة. ففي البحار تتجمع بقايا وهياكل الحيوانات  
البحرية مثل المرجان والدياتوم والرادبوليرا، والكوكوليث والفورامينيفرا  
فوق أرغسية المحيط، وبمرور الزمن الجيولوجي تتحول هذه الرواسب إلى  
صخور الأوز العضوية Organic Oozes السليكية والجيرية . وفوق سطح  
الأرض قد تسمحل الغابات وتتراكم جنوع الأشجار وتدفن تحت فرشات  
هائلة من الرواسب ومن ثم تتحول إلى طبقات الفحم . وفي بعض الأحيان  
قد تتكون الصخور الرسوبية ، نتيجة لترسيب كيميائي عضوي بفعل  
نشاط بعض الحيوانات والنباتات التي تساعد على تشكيل بيئة ترسيبية  
خاصة بحيث يتكون فيها بعض أنواع المعادن كما هو الحال بالنسبة لحديد  
المستنقعات Bog-iron ore

### نماذج لبعض أنواع الصخور الرسوبية

#### (أولاً) الصخور الرسوبية الميكانيكية

##### ١- الصخور الحصوية والصخور الرملية :

قد تتألف الصخور الرسوبية من الحصى والحصىاء وفتات الصخور  
الأولية، وفي هذه الحالة تعرف باسم الصخور الحصوية. وكما تبين من  
قبل حسب مقياس وينتوارث اتفق الجيولوجيون على اعتبار أن الحبيبات  
الصخرية التي يتراوح قطرها من ٢- ١٠ سم تسميتها باسم الحصى  
Gravels. وإذا كانت أكبر من ذلك حجماً فتعرف باسم الجلاميد Boulders  
كما أن الرمال تصنف إلى مجموعات مختلفة وفقاً لاختلاف حجم حبيباتها  
ومنها الرمال الخشنة والرمل المتوسطة والأخرى الناعمة . وإذا كانت  
الرمل تألف التكوين العام للصخر فيعرف الأخير في هذه الحالة باسم

الصخر الرملى . ولكن يتكون مثل هذا الصخر ينبغي أن تكون هناك مادة لاحمة تعمل على تماسك الذرات الرملية مع بعضها البعض ، وإذا كانت للمادة اللاحمة من الجير فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى الجيرى - Cal-careous Sandstone وإذا كانت المادة اللاحمة من السليكا فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى السليكى Siliceous Sandstones وإذا كانت هذه المادة حديدية فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى الحديدى - Ferrugenous Sandstones

وتختلف صلابة الحجر الرملى من نوع إلى آخر تبعاً لخصائص المادة اللاحمة التى تعمل على تماسك جزيئات الصخر. كما تختلف مسامية الصخر وحجم الفراغات بين حبيباته وفقاً لحجم هذه الحبيبات سواء كانت متجانسة ومتشابهة الحجم أو غير متشابهة الحجم.

ب - صخور المجمعات المستديرة الحبيبات - الكونجلومرات - Conglomerates

وتتركب هذه الصخور من مفتتات صخرية تتميز بحبيباتها بأنها مستديرة الشكل. وتعزى هذه الاستدارة إلى تأثير التعرية المائية النهرية أو البحرية فى تشكيل الحبيبات الصخرية التى تتركب عادة من الكوارتز. وقد تجمع هذه الحبيبات الصخرية المستديرة الشكل وتندمج وتتماسك مع بعضها البعض بفعل مواد لاحمة مثل السليكا أو كربونات الكالسيوم أو أكاسيد الحديد وتكون الصخر المعروف بالكونجلومرات. وتختلف درجة صلابة الصخر ودرجة مساميته تبعاً لنوع المادة اللاحمة ومدى اتساع الفراغات الصخرية.

ج - صخور المجمعات العادة الحبيبات - البريشيا : Breccia

تتلفق هذه المجموعة من الصخور مع صخور المجمعات من حيث النشأة وعمليات التكوين إلا أنه فى هذه الحالة يلاحظ بأن الصخر يتكون أساساً من حبيبات حادة الحواف ذات أطراف مدببة ومتشوطة. وإن دل شكل هذه الحبيبات العادية على شئ فإنما يدل على أنها قد تعرضت لعمليات التجوية الطبيعية وخاصة التمدد والانكماش بفعل اختلاف

درجات الحرارة، أو أنها تشكلت بفعل الرياح أو بفعل الجليد. ومن الدراسة التفصيلية لإشكال هذه الحبيبات وتحديد أنواع الصخور التي تتألف منها وخصائص المادة اللاصقة التي عملت على تماسكها والموقع الذي توجد فيه هذه الصخور يمكن أن يدرك الباحث نشأة صخور البريشيا .

#### د - الصخور الطينية : Argillaceous Rocks

وهي مجموعة الصخور الرسوبية الميكانيكية الدقيقة الحبيبات، حيث يبلغ متوسط قطر الحبيبات الطينية نحو ٠,٠٥ ملم. وعندما ترتفع نسبة الرطوبة أو المياه داخل الصخور الطينية يصبح الصخر شديد اللزوجة وحين يتعرض الصخر للجفاف تماسك حبيبات الصخر، وتلتحم مع بعضها البعض بفعل التماسك والانضغاط، ويصبح صخوراً متماسكاً دون حاجة إلى مادة لاصقة.

وإذا كانت الرواسب الطينية متجانسة ومتنمجة الأجزاء فقد تؤدي إلى تكوين صخر طيني سميك الطبقات وهو ما يعرف بالحجر الطيني Clay or Mudstone أما إذا كانت كل طبقة رقيقة من الطين تختلف عن الطبقة التي أرسبت قبلها حتى ولو كان اختلافاً بسيطاً في التركيب الصخري فقد يؤدي هذا إلى تكوين الصخر الطيني الصفائحي Laminated الرقيق السمك.

وتتكون المواد الطينية أساساً من سليكات الألومنيوم تبعاً لتحلل معادن الفلسبار، ولكن يختلط معها بعض المعادن الأخرى بنسب قليلة متفاوتة وذلك مثل الكوارتز والميكا وأكاسيد الحديد وتتشابه جميعاً في أنها دقيقة الذرات، وتتميز الصخور الطينية باللون الأسود بسبب تحلل نباتات متفحمة من جهة ولكثرة ذرات كهريتور الحديد من جهة أخرى. وفي بعض الأحيان قد تظهر الصخور الطينية بألوان متعددة مثل الأحمر والأسفر والأخضر والفنفسجي وذلك تبعاً لوجود مواد معدنية شائبة في الصخور مثل أكاسيد الحديد والمنجنيز.

ومن ثم يمكن أن نميز مجموعات مختلفة من الصخور الطينية من بينها الكاولين Kaolin المائل إلى اللون الأبيض والمكون معدن الكاولينيت بعد تحليل الفلسبار. ويعرف أحياناً باسم الطين الصيني China Clay حيث يستخدم في صنع الأواني الخزفية. وعندما يختلط الطين بالرمال يصبح لونه يميل إلى الاصفرار ويعرف بالطين الرملي أو صفو اللوم Loam في حين إذا ارتفعت نسبة كربونات الكالسيوم في الطين فيعرف الصخر باسم الطين الجيري أو المائل Marl وإذا زادت نسبة معدن المونتموريلونيت Montmorillonite في الطين فيكتسب الصخر اللون الأخضر. وإذا انخفضت نسبة المواد الجيرية في الطين فإنه يصبح مناسباً لاستخدامه في تبطين الأبرام الكهربائية لتحمله درجات الحرارة العالية، ويعرف في هذه الحالة باسم الطين الناري أو الطين الحراري Fire or Refractory Clay

وتبعاً لدقة حجم الذرات الطينية، تتجمع مواد الصخر الطيني في بيئة ترسيبية خاصة. ومن بين أهم مناطق الإرسابات الطينية أرضية الأودية النهرية، والسهل الفيضي وأسطح المدرجات النهرية والدلتاوات حيث تنتقل ذرات الطين بواسطة التعلق بمياه النهر من مناطق المنبع إلى أن تتجمع في الأجزاء الدنيا من حوض النهر، وتدخل في بناء المدرجات والدلتاوات النهرية.

وإذا كانت المواد الخشنة تتمثل في منطقة خط الساحل فإن الرواسب الدقيقة الحجم وخاصة الطين تتعلق ذراتها بالمياه وفي النهاية تترسب فوق أرضية البحار والمحيطات ولكن على أعماق بعيدة مكونة رواسب الصلصال الأحمر. ومن بين أنواع الصخور الطينية وأكثرها شيوعاً في مصر، غرين أو طمي النيل Nile Silt ويتألف أساساً من سليكات الألومنيوم وكاسيد الحديد تبعاً لتحلل التكوينات البازلتية في هضبة الحبشة، وتنتقل ذرات الطين بالتعلق في مياه نهر النيل إلى أن تضيف عند كل فيضان سنوي طبقة صفائحية رقيقة فوق طبقات دلتا النيل في مصر. وهناك نوع آخر من الطين يعرف باسم الطين الأسواني. ويتمثل في جمهورية مصر

البحرية حول مدينة أسوان خاصة ويمثل رواسب طينية كانت مترسبة في  
تأخر عصر جيولوجي قديم، أما غطفان إسنا Esna shale الذي يتمثل بوجه  
خاص قرب إسنا فإنه تبعاً لارتفاع نسبة نيترات الصوديوم في الصخر  
يستخدم كسماد للأراضي الزراعية

### ( ثانياً ) الصخور الرسوبية الكيميائية

#### ١ - الصخور الجيرية الكيميائية Chemically-Formed Limestones

تتكون الصخور الجيرية الكيميائية في عدة صخور مختلفة إلا أن  
أسباب تكونها يعزى إلى بركانات كربونات الكالسيوم، وأهمها بعد البحر  
المالح التي كانت تحتوي على مقداراً كبيراً من مياه البحر، وفي البحيرة  
والنافورات الصادرة كمياه كيميائية، في وجود الكالسيوم الذي يترسب  
بذورها حول هذه الميوز المائية، فترسب هذه المياه على البحيرة وذلك  
بعد تبخر المياه التي كانت تحتويها، ويحل هذه الترسبات الجيرية في بعض  
رواسب السيلست السيلستي Silty sandstone ورواسب النافورة  
وقد تشاهد رواسب النافورة في عدة أماكن في مصر والبحار الجيرية كما  
هو الحال في سفرة جعيتا في حمار، في سفرة الكهوف الجيرية  
وأراضيها كذلك فتشاهد الأعمدة الجيرية العارية، في سفرة  
لتجمع كربونات الكالسيوم في سفرة الكهوف والأعمدة الجيرية المساعدة  
Stalagmites التي تشير أطرافها إلى سفرة الكهوف وقد تصبح رواسب  
جيرية متبلورة على شكل عروق نقية من كبريتات الكالسيوم مع الماء  
تدخل كتل جيرية أخرى غير نقية ويعرف الصخر في هذه الحالة باسم  
الآلهسترو أو المرمر المصري The Egyptian Alabaster، ويستخدم هذا  
الصخر في صنع بعض التماثيل الفرعونية وأعمدة بعض المساجد  
الشهيرة مثل مسجد محمد علي الكبير بالقاهرة

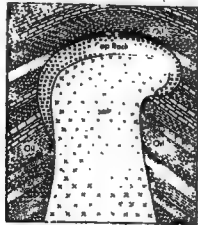
ب - الجبس : Gypsum

عندما يوجد الجبس في بلورات صغيرة وبكميات محدودة فيعتبر في هذه الحالة من مجموعة المعادن ولكن إذا تشكلت كتونينات الجبس (كبريتات الكالسيوم مع الماء) في كتل كبيرة الحجم فيعتبر في هذه الحالة الأخرى صخوراً، ويتكون الجبس كيميائياً بعد تبخر مياه البحار الضحلة والبحيرات الشاطئية وتراكم كبريتات الكالسيوم، وكثيراً ما يمتزج الجبس مع أنواع ثانوية من الصخور الكيميائية الأخرى مثل الأنهيدريت Anhydrite والملح الصخري Rock Salt ليكون تلال شاطئية متوسطة الارتفاع.

ج - الملح الصخري : Rock Salt

تتكون رواسب الأملاح المختلفة بعد ترسيبها من مياه البحار الضحلة والبحيرات التي تتعرض أسطحها بشدة لفعل التبخر المستمر. ومن ثم قد تترسب مجموعات مختلفة من الأملاح ومن بينها الكلوريدات والكبريتات والكبريتات والأزوتات. وقدر العلماء بأن كل ١٠٠٠ جزء من مياه البحر تحتوى ٢٥ جزءاً من الأملاح ومعظمها من مجموعة الكلوريدات. وقد تظهر رواسب الأملاح على السطح بعد تبخر للمياه البحرية أو الساحلية الضحلة، ولكن قد تظهر القباب الملحية Salt Domes داخل كتونينات صخرية قديمة تماماً لتسرب المياه الملحية داخل الصخر ثم بعد تبخر هذه المياه تترسب رواسب الأملاح على شكل قباب ملحية كما هو الحال في مناطق متفرقة من جنوب تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية. (شكل

(٦٤)



(شكل ٦٤) القباب الملحية

### ( ثالثاً ) الصخور الرسوبية العضوية

تتألف هذه المجموعة من الصخور من تراكم بقايا النباتات وحيات الكائنات المختلفة، وقد تتم عملية تراكم هذه المواد العضوية في بيئات ترسيبية متنوعة كما هو الحال في البحار العميقة أو المستنقعات الساحلية أو فوق سطح الأرض. وعندما تنظم هذه الكائنات البحرية وتتماسك فتاتها تكون صخور رسوبية مؤلفة من الكائنات العضوية. ومن بين هذه المجموعة كل من الصخور الجيرية العضوية والصخور الفوسفاتية والصخور الكربونية وخاصة طبقات الفحم.

أ - الصخور الجيرية العضوية : Organically - formed Limestones

تعد هذه المجموعة أكثر أنواع الصخور الجيرية انتشاراً على سطح الأرض، وتمثل نسبة كبيرة من التكوين الصخري العام لقشرة الأرض، وتتألف عامة من بقايا وفتات الكائنات البحرية التي لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من المياه واستخدامها في بناء هيكلها وقشورها وأصدانها. ومن ثم عند فناء هذه الكائنات تتلاشى المواد الهلامية المكونة للكائن نفسه وتتساقط الهياكل والقشور الجيرية (إن استطاعت مقاومة عملية ذوبانها في المياه) وتتراكم فوق قاع البحر. وبمرور الأزمنة الجيولوجية ونتيجة للضغط الواقع عليها وتداخل بعض المواد اللاصقة بين ذراتها تلتحم هذه الرواسب وتكون الصخور الجيرية العضوية.

ومن الكائنات البحرية التي لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من مياه البحار وبناء المواد الأساسية للمكون للصخور الجيرية الفورامينيفيرا Foraminifera والنوموليت Mammulites والشعاب المرجانية Corals والطحالب الجيرية Calcareous Algae، وكائنات الجلوجيرينا Globigerina والبتروبود Pteropod والكوكوليث Coccolith

وحيث تتميز حبيبات الصخور الجيرية لهذه المجموعة بدقة حجمها، فهي لا تتجمع إلا في الأعماق البعيدة خاصة فيما بين ٢٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ م وتعرف مثل هذه الرواسب المكونة من ذرات دقيقة الحجم جداً برواسب

الأوز Oozes وذلك مثل الأوز البترويهوى والجلوبجريتى. وعند ظهور هذه الطبقات الجيرية على سطح الأرض ( بعد تعرضها لحركات الطي ) فإن ذلك على شئ فإما تدل على خصائص البيئة الترسيبية التى تجمعت خلالها تلك الرواسب وإن التوزيع الجغرافى الحالى لليابس والماء يختلف عما كان عليه إبان ترسيب هذه المواد الجيرية.

وتكون كائنات النوموليت الصخر للصروف باسم قروش الملائكة أو الحجر النوموليتى Nummulitic وهو صخر ناصع البياض مكون أساساً من محارات نوموليتية مستديرة أشبه بشكل قطع النقود المعدنية. فى حين تساهم كائنات الفورامنيفرا فى تكوين الصخور الطباشيرية والذى شاع تكوينه خلال العصر الطباشيرى - الكريتاسى Cretaceous

#### ب - صخر الفوسفات : Phosphate Rock

يتضح من اسم الصخر أنه يتكون أساساً من فوسفات الكالسيوم، نتيجة تحمل عظام وهياكل وأطراف بعض الكائنات البحرية . وتستغل رواسب هذا الصخر فى عمليات تخصيب الأراضى الزراعية. وتتمثل طبقات الفوسفات فى جمهورية مصر العربية فى مناطق متفرقة خاصة بالقرب من سفاجة والقنصير على ساحل البحر الأحمر وى وادى النيل بالقرب من السباعية وإسنا وفى الواحات الخارجة والداخلية.

#### ج - الرواسب الفحمية : Coal-Measures

عندما تندثر النباتات وأفرع الأشجار وجذوعها وتنطم تحت رواسب سميكة وتعرض لعمليات الإنضغاط تتفحم أو تتكربن بالتدريج وخلال فترات طويلة من الزمن الجيولوجى تصبح طبقات مختلفة من الفحم. وتبعاً لحجم المواد النباتية المنطمرة وطول الزمن الجيولوجى التى تكونت خلاله ومدى الضغط الواقع عليها يميز الباحثون مجموعات مختلفة من الرواسب والطبقات الفحمية. فالبيت أو اللهد النباتى Peat عبارة عن نباتات غير كاملة التفحم ولا تزال لفصان النباتات فيه مفككة وتشبه إلى حد كبير « البرسيم المضغوط » وتتميز طبقاتها باللون البنى وأنها

أسفنجية النسيج وعالية المسامية، وتنتشر في مناطق المستنقعات Peat Bogs بالمناطق المعتلة والباردة ويعد « البيت » أكثر التكوينات الفحمية إذ لا تزيد نسبة الكربون فيه عن ١٠٪ فضلاً عن كثرة الشوائب والرمال المنتشرة مع هذه الجواسب.

أما فحم اللجنيت lignite، فهو الآخر عبارة عن نباتات منطمة إلا أنها أقدم عمراً من اللهد النباتي، وانتشرت في معزل عن الهواء الخارجى نسبياً، ومن ثم تقل فيه الشوائب وترتفع فيه نسبة الكربون حتى تصل إلى نحو ٧٠٪، وأجزائه متماسكة سوداء أو تميل إلى اللون البنى الغامق وتسمى تبعاً لذلك بالفحم البنى The Brown Coal وتتمثل طبقات هذا الفحم مع تكوينات الزمن الجيولوجى الرابع .

ومن بين أحسن أنواع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه هو الفحم الحجري Coal ويبدو هذا الفحم على شكل طبقات رقيقة السمك (تتراوح من بضعة سنتيمترات وأثراً ما يزيد سمك الطبقة الواحدة عن ٢ م) ذات لون أسود قاتم ، شديدة الاندماج ولا يبدو فيها أى اثر لباقايا الكائنات النباتية اللهم إلا بعض طوابع لأشكال أوراق الأشجار القديمة التى اندثرت وتحللت بعد أن تركت طابعها فى الصخر<sup>(١)</sup> . وأكثر تكوينات الفحم الحجري شهرةً فى القشرة الأرضية تلك التى تكونت خلال العصر الفحمى أو الكربونى فى الزمن الجيولوجى الأول كما قد تتمثل طبقات الفحم فى الزمن الجيولوجى الثانى - العصر الجوارسى - وخاصة خلال فترة الباجوسيان فى مصر ، حيث عثر على طبقات واسعة من الفحم الحجري فى منطقتى اللقارة والأصفا فى القسم الشمالى من شبه جزيرة سيناء . وقد تبين من الدراسات الجيولوجية أن طبقات الفحم تترسب على شكل نورات إرسابية خاصة تعرف باسم Cyclothems وتتميز هذه النورات بإرساب الطبقات الفحمية والمصلصالية فى الأجزاء العليا من

(١) تكونت طبقات الفحم من انطمار لأشجار كبيرة الحجم وأخري كانت تنمو فى بيئة المستنقعات ومن بين أهم هذه المجموعات الشجرية تلك المعروفة باسم لبيدودندرون

Lepidodendron وسجيلاريا Sigillaria وكلاميتس Calamites

التكوينات الفحمية (Coal Measures) وكل من هذه الطبقات المختلفة إن دلت على شيء فإنما تدل على حصائص البيئة الترسيبية التي تكونت خلالها.

ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الفحم الحجري هما:

١. **الفحم البهيويني** Bituminous Coal وهو أسود اللون وتصل نسبة الكربون فيه إلى نحو ٨ / وعند حرقه يترك أثراً أسوداً في اليد نتيجة لليونته، ومن ثم يعرف أيضاً باسم الفحم اللين Soft Coal أو القطرانى.

٢. **فحم الانثراسيت** Anthracite وهو أسود اللون كذلك إلا أن نسبة الكربون فيه مرتفعة جداً وتزيد عادة عن ٩ من جملة وزنه ويتميز بصلبته العالية وشده صلابة ومن ثم يعرف باسم الفحم الصلب Hard Coal. وهو على نوع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه.

## ١ ثالثاً ، الصخور المتحولة

### Metamorphic Rocks

يقصد بمجموعة الصخور المتحولة تلك الصخور التي تحولت عن حالتها الأصلية الأولية إلى حالة أخرى جديدة لم تكن عليها من قبل، وقد يكون هذا التغير الذي طرأ على الصخر تغيراً في طبيعة النسيج الصخري أو اختلافاً في التركيب المعدني أو الاثنين معاً. وكثيراً ما يتولد في الصخور المتحولة معادن جديدة لم تكن موجودة من قبل في الصخور الأصلية سواء أكانت من أصل ناري أو من أصل رسوبي. ويتم عمليات التحولة الصخرية تبعاً لتأثير الحرارة الشديدة أو بفعل الضغط الشديد أو نتيجة لتأثير الحرارة والضغط الشديدين معاً. ويختلف حجم الصخور المتحولة تبعاً لشدة العوامل التي أدت إلى عمليات التحول ، وقبل دراسة الصخور المتحولة وتحديد خصائصها الطبيعية العامة ينبغي أن نشير إلى مشكلتين أساسيتين تتعلق بدراسة الصخور المتحولة وهما:

١- كثرة أنواع الصخور المتحولة حيث أنها قد تتألف من جميع أنواع الصخور الرسوبية والنارية على السواء، فأى صخر من هذين النوعين من الصخور يمكن أن يتحول إلى أحد أفراد مجموعة الصخور المتحولة . هذا فضلاً عن أن الصخر المتحول قد يتحول إلى نوع آخر من الصخور المتحولة نتيجة لتعرضه لظروف تحول خاصة.

٢- لا يمكن أن نلاحظ عملية التحول الصخري أثناء حدوثها ، وتشاهد الصخور المتحولة من أصل ناري فوق سطح الأرض بعد أن تكون قد مرت بعمليات التحول داخل القشرة الأرضية وتعرضت لعمليات الرفع ، هذا بخلاف عمليات الترسيب التي قد يمكن مشاهدتها وملاحظة كيفية تكوين معظم مجموعات الصخور الرسوبية، وكذلك فيما يتعلق بإمكانية مشاهدة المصهورات اللافاية فوق سطح الأرض وبروتتها التدريجية لتكوين الهضاب البركانية والصخور النارية. ومن ثم فإن نشأة الصخور المتحولة وتحديد عمليات التحول الصخري لا بد وأن نستخلصه من دراسة التركيب والنسيج الصخري لهذه الصخور .

## الخصائص العامة للصخور المتحولة

### (١) النسيج الصخري : Texture

قد يتרכب نسيج الصخور للمتحولة من حبيبات خشنة أو متوسطة أو دقيقة كما هو الحال في كل من الصخور النارية والرسوبية ، ولكن أهم ما يميز الصخور المتحولة ليس فقط اختلاف حجم الحبيبات الصخرية بل كيفية ترتيب هذه الحبيبات . ومن ثم يمكن أن نلاحظ نوعين مميزين من النسيج الصخري في الصخور المتحولة هما :

### (أ) النسيج الصخري الورقي : Foliated texture

حيث تترتب حبيبات الصخر نتيجة لعمليات التحول ترتيباً خاصاً ، وتظهر غالباً على شكل خطوط طولية رقيقة متوازية متجاورة وتمتد في اتجاه عام مع اتجاهات التشقق الصخري . وينقسم النسيج الورقي تبعاً لخصائص عملية التصفح أو التورق إلى أنماط ثانوية من بينها :

#### ١- النسيج الإردوازي : Slaty texture

حيث تترتب حبيباته الدقيقة الحجم جداً على طول أسطح تشقق متجاورة جداً ومتوازية ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة . ويتمثل ذلك في صخر الأردواز المتحول من الصخور الطينية وبعض الصخور البركانية التي تعرضت لعمليات التحول .

#### ٢- النسيج الفلتي : Phyllitic texture

على الرغم من دقة حجم حبيبات الصخر في هذه الحالة إلا أنه يمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وتبدو أسطح التشقق الصخري متجاورة ومتقاربة وغير منتظمة الامتداد . ويتمثل هذا النسيج بوجه خاص في صخر الفلتي ، وهو ذو مظهر وسط بين صخر الأردواز المجهرى الحبيبات والشيست الواضح الحبيبات .

### ٣- النسيج الشيسكوزى : Schistose texture

يطلق هذا التعبير على الصخور المتحولة التي تبدو على شكل صفائح أو رقائق رقيقة منفصلة على طول أسطح التشقق ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة. كما يتميز أسطح التشقق في هذه الحالة بكونها خشنة عن تلك في حالى النسيجين الأربوازي والفليتى.

### ٤- النسيج الغنيسى : Gneissic texture

ويتميز النسيج في هذه الحالة بخشونته حيث يتركب الصخر في بلورات كبيرة ترى بالعين المجردة ، وأن أسطح التشقق تبدو غير منتظمة الامتداد وخشنة المظهر.

### ب - النسيج الصخري غير الورقى : Un Follated texture

لا يمثل هذا النسيج إلا في مجموعة محدودة جداً من الصخور المتحولة، حيث يصعب على الملاحظ أن يحدد اتجاهات معينة للتشقق الصخري ، أو اتجاهات ثابتة لتكسر أسطح الصخر وتبدو الحبيبات الصخرية غير منتظمة الترتيب أو بمعنى آخر غير صفائحية المظهر.

### (٢) التركيب المعدنى :

على الرغم من تنوع التركيب المعدنى للصخور المتحولة إلا أنه يمكن أن نميز إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

أ - صخور متحولة تتألف أو تكاد تتألف أساساً من معدن واحد، ويطلق الجيولوجيون عليها اسم الصخور ذات المعدن الواحد Monomineralic ومن بين هذه المجموعة الرخام Marble الذى يتألف من الكلسيت والكاربونات الذى يتألف من الكوارتز . وتتميز هذه المجموعة من الصخور بكونها غير ورقية النسيج ، أو أن مظهرها الورقى الصفائحي ضعيف جداً.

ب - بقية الصخور المتحولة يتألف كل منها من معدنين أو أكثر ويطلق عليها الصخور المكونة من معادن متعددة Multimineralic ويلاحظ بأن أغلب الصخور المتحولة المكونة من معدنين أو أكثر تبدو أساساً ورقية أو

صفائح النسيج، وتلبل منها مثل الصخور الرناتة - الهورنفلز Hornfels غير ورقية النسيج

ويلاحظ بأن الصخور المتحولة تتألف عامة من نفس مجموعات المعادن المكونة للصخور النارية والرسوبية وذلك مثل معادن الكوارتز، والكلسيت، والفلسبار الأورثوكلازى والبلاجيو كلازى والليكا والأوجيت، ولكن نتيجة لعمليات التحول الصخرى المختلفة قد تنشأ معادن جديدة فى الصخور المتحولة من النادر أن نجدها ممثلة فى مجموعاتى الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن الديويسيد Diopside والترمولىت Tremolite، والسيلمنيت Sillimanite، والكائيت Kyanite، والاندلوسيت Andalusite، والستوروليت Staurolite، والابيدوت Epidote ونتيجة لاختلاف كل من النسيج الصخرى والتركيب المعدنى يمكن أن نرجح تصنيفاً مبسطاً للصخور المتحولة يتلخص فى الجدول الآتى<sup>(١)</sup>

نوع النسيج الصخرى	صخور مكونة من معدن واحد	صخور مكونة من معدنين أو أكثر
صخور غير ورقية صخور ورقية	الكوارتزيت - الرخام —	الهورنفلز (الصخر الرناتان) الاردواز - الفيليت الشيبست - النيس

### عمليات التحول الصخرى وأسبابها

يقصد بالتحول الصخرى التغير الذى يطرأ على أى صخر من حيث نسيجه أو تركيبه المعدنى . وتحدث عمليات التحول الصخرى فى حالة كون الصخر متماسك الأجزاء وبارداً - أى متجمداً - فى حين لا تحدث هذه العمليات للصخور وهى فى حالة الانصهار أو السيرة . ويمكن للصخور

(1) William Lee Stokes and Sheldon Judson, "Introduction to geology", Prentice Hall N. J. "1968", P.95.

أن تظل في باطن القشرة الأرضية لفترة طويلة من الزمن الجيولوجي على هيئة مواد شبه سائلة لزجة إذا ساعدت عوامل الحرارة والضغط على ذلك، في حين قد تتحول صخور قشرة الأرض المتجمدة - أو الباردة - إلى صخور مختلفة تحت تأثير عوامل خاصة أهمها ارتفاع درجة الحرارة، وشدة الضغط، وتغلغل محاليل مختلفة عالية التفاعل الكيميائي داخل الصخر. وقد تتم عملية التحول الصخري بسبب أحد هذه العوامل أو لأكثر من عاملين معاً.

**الحرارة :** أكدت الأبحاث الجيولوجية بأن الصخور قد تتعرض لعمليات التحول إذا ما تعرضت لدرجة حرارة عالية تتراوح من ٣٠٠ °ف إلى ١٤٧٠ °ف (١٥٠ م إلى ٨٠٠ م).

**الضغط :** أكدت نتائج أعمال حفر كبار البترول بأن الصخور الرسوبية التي تبعد عن السطح بنحو ٢٠ - ٣٠ ألف قدم حيث يبلغ مقدار الضغط الواقع عليها بنحو ٤,٠٠٠ رطل في البوصة المربعة، تصبح الصخور في حالة مرنة أو لينة Plastic ونتيجة لشدة الضغط الواقع على الصخور عند هذه الأعماق الهائلة ينجم ما يلي:

أ- تقل المساحات التي كان يشغلها الصخر من قبل نتيجة الضغط الواقع فوقه ، وتؤدي هذه العملية إلى إعادة تبلور حبيبات الصخر وتكوين معادن جديدة صغيرة الحجم يتجاوز بعضها مع البعض الآخر .

ب- نتيجة لاختلاف قوة الضغط الواقعة فوق الصخور قد يؤدي ذلك إلى تكوين أنسجيات من المواد الصخرية. وينجم عن هذه الانسجيات الصخرية تعرض الصخور المضغوطة إلى تشقق أسطحها بحذوذ رقيقة متوازية، وتغيير نسيجها الأصلي، وتعديل اتجاهات حبيباتها الصخرية، وتكوين بلورات صخرية جديدة.

### السوائل النشطة كيميائياً:

تحتوى المالحا الى تتألف منها مجموعات الصخورالنارية على نسبة معينة من الماء، ومعظم هذه المياه تنبثق مع المصهورات البركانية على شكل أبخرة وغازات . وإذا انبثقت هذه المياه الساخنة بالقرب من سطح الأرض وداخل مخور قشرة الأرض فإنها تتغلغل فى الصخور على شكل محاليل مائية حرارية Hydrothermal Solution وتعمل هذه المحاليل على نقل أيونات الصخور النارية إلى الصخور الأخرى التى تتغلغل فيها ، وقد تعمل على نقل بعض أيونات من هذه الصخور الأخيرة وإرسائها فى صخور مختلفة أخرى ونتيجة لعمليات نقل أيونات الصخور وإحلال أخرى جديدة محلها يؤى ذلك إلى تغيير الصخر الأصلى.

ويطلق على عملية تغيير معادن الصخر بفعل عمليات نقل أيونات الصخر وإحلال غيرها محلها باسم التحول المغير Metasomation، وإثناء تغيير معادن الصخر قد تزال السوائل النشطة كيميائياً داخل فراغات الصخر دون أن ينتابها أى تغير كيميائى، وفى هذه الحالة يطلق عليها تعبير المحاليل للدمرة أو المغيرة Cataclastic solution

أنماط التحول الصخرى : Types of Metamorphism

يمكن أن نميز الأنواع الآتية من أشكال التحول وذلك فى ضوء كيفية حدوث عمليات التحول نفسها :

#### ١- التحول الصخرى الحرارى : Thermal Metamorphism

وتتم عملية التحول الصخرى فى هذه الحالة بفعل الحرارة الشديدة ، وقد يكون مصدر هذه الحرارة العالية المواد المنصهرة فى باطن الأرض وانسيابها إلى أعلى أو بفعل مواد المالحا المنصهرة المنحبسة داخل القشرة الأرضية.

#### ٢- التحول الصخرى الديناميكي : Dynamic Metamorphism

وتحدث عملية التحول الصخرى هذه بفعل الضغط الشديد الواقع

فوق الصخور ، وينجم عن ذلك تغيير عام في النسيج الصخري وإعادة الترتيب الذري لمعادن الصخور بل وإحلال معادن جديدة في الصخور الأصلية . وعندما تتحول الصخور عن حالتها الأصلية إلى حالة جديدة بفعل كل من الحرارة والضغط معاً فيعرف التحول هذا باسم التحول الديناميكي الحراري . Dynamothermal metamorphism.

### ٣- التحول الصخري التماسي أو الاحتكاكي : Contact metamorphism

وتحدث عملية التحول في هذه الحالة نتيجة تماس الصخور بمواد منصهرة ساخنة تعمل بدورها على تغيير أيونات الصخور وتعديل التركيب الذري والمعدني للصخر الأصلي . وعلى ذلك فقد يحل محل أيونات الصخور الأصلية معادن أخرى جديدة بفعل الفازات الساخنة وخاصة في منطقة التماس ، ولكن كلما بعدنا عن هذه المنطقة يقل تأثير التماس الصخري ، وتقتصر عملية تغيير معادن الصخر على بعض المعادن القابلة للتغيير ، وفي النهاية يتلاشى تأثير التحول التماسي .

وعلى ذلك فيشتد تأثير التحول التماسي في منطقة الاحتكاك الصخري نفسها وما يقع بالقرب منها ، ويمكن تمييز مناطق التحول التماسي عن غيرها من الأجزاء الأخرى للصخور ، ويطلق عليها اسم هالة التحول Aureoles or Halos ويختلف سمك هذه الهالة من بضعة سنتيمترات إلى نحو بضعة مئات من الأقدام ، وتشاهد هالات التحول الاحتكاكي عندما تتدخل السدود العروقي النارية والكتل النارية في الصخور الأخرى . وخلال حدوث عمليات التحول الاحتكاكي تتراوح درجة حرارة المواد المنصهرة من ٥٧٠° ف إلى ١٤٧٠° ف (٢٠٠° ف إلى ٨٠٠° ف) ، كما يتراوح مقدار الضغط في هذه الحالة من ١٥٠٠ إلى ٤٥,٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة .

ونتيجة لحدوث عمليات التحول الاحتكاكي يعاد تبلور معادن الصخور من جديد ، كما قد تنشأ معادن أخرى جديدة ومن أكثرها شيوعاً الديوبسييد Diopside والترمولايت Termolite (سليكات الكالسيوم والمغنسيوم) .

#### ٤- التحول الصخري الإقليمي: Regional metamorphism

عندما يشتد تأثير عمليات التحول بحيث تشغل مساحات واسعة تمتد لآلاف من الأميال للربعة ، ويظهر تأثيرها في صخور هائلة السمك قد تبلغ عدةآلاف من الأقدام، فإن التحول الصخري في هذه الحالة يعرف باسم التحول الإقليمي . ويرجع الباحثون بأنه من أهم أسباب حدوث عمليات التحول بهذا الشكل حدوث الحركات التكتونية والتقلصات الباطنية في باطن الأرض وتعرض صخور القشرة الأرضية لحرارة وضغط شديدين . ومن ثم تشاهد تأثير عمليات التحول الإقليمي في المناطق المركزية التي تتشعب منها حركات المرتفعات والثنيات الكبرى في القشرة الأرضية.

وخلال عمليات التحول الإقليمي تنشأ في الصخور معادن جديدة بفعل الضغط والحرارة معاً ولم تكن ممثلة فيها من قبل، ولا تتمثل هذه المعادن في الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن السليمينيت ، والكابتيت، والأنلوسيت.

وقد تقسم المنطقة التي تأثرت بعمليات التحول الإقليمي إلى مناطق Zones متميزة تشمل :

أ- مناطق عالية التأثير بعمليات التحول High grade ويكثر فيها معدن السيلامينيت.

ب - مناطق متوسطة التأثير بعمليات التحول Middle grade ويكثر فيها معدن الجارنت والالمنيت.

ج - مناطق قليلة التأثير بعمليات التحول Low grade ويكثر فيها معدن الكلوريت.

وكل من هذه المناطق الثانوية المميزة تتشكل وفقاً لدرجات الحرارة والضغط الواقعين على الصخور الأصلية. ومن ثم فإن المناطق العالية

التأثر بعمليات التحول تقع بالقرب من مصدر هذه العمليات في حين أن المناطق القليلة التأثر بها تبعد كثيراً عنها. ومن دراسة العلماء لنوع المعادن الصخرية وتمييز معادن الصخور المتحولة مثل السيلمنيت والجارنت والكلوريت يمكن تحديد مواقع المنطقة التي يفحصها الباحث بالنسبة لمراكز عمليات التحول ، وذلك سواء أكانت منطقة عالية أو متوسطة أو قليلة التأثر بعمليات التحول.

### نماذج لبعض الصخور المتحولة

تسمى أنواع الصخور المتحولة المختلفة في معظم الأحيان وفقاً لأشكال نسيجها الصخرى وفي بعضها الآخر تبعاً لوفرة معدن ما في تكوينات الصخر، ومن بين أكثر الصخور المتحولة شيوعاً في قشرة الأرض ما يلي:

#### الأردواز: Slate

يتكون هذا الصخر المتحول أساساً عن الصلصال في المناطق القليلة التأثر بعمليات التحول ويتألف من حبيبات صخرية دقيقة الحجم جداً ، ويتشقق الصخر على شكل صفائح رقيقة جداً موازية لبعضها البعض نتيجة لتعديل اتجاه المعادن المسطحة المبهطة الشكل والدقيقة الحجم بفعل عمليات التحول . وتحول بعض المعادن الصلصالية بفعل عمليات التحول كذلك إلى الكلوريت والمليكا . وإذا تميز الأردواز بلونه الداكن فيعزى ذلك إلى كثرة وجود المواد الكربونية أو الحديدية في الصخر .

#### الفيليت : Phyllite

يشبه صخر الفيليت ، صخر الأردواز من حيث التركيب المعدني إلا أن حبيباته أكبر حجماً من تلك في حالة الأردواز . وعندما يتعرض الأردواز لدرجات حرارة عالية تتراوح من ٥٠٠°ف إلى ٦٠٠°ف ( ٢٥٠م - ٣٠٠م ) فإن معادن الكلوريت والمليكا تكبر حجماً ، ويتحول الصخر إلى الفيليت .

ويتميز سطح هذا الصخر بانصقاله وكأنه منكسر حديثاً . Fresh broken  
وأكثر المعادن شيوعاً في صخر الفيليت هي الكلوريت والميكا البيضاء  
وقليل من التورمالين والجارنت .

#### الشيسيت : Schist .

يكثر وجود صخر الشيسيت في مناطق التحول الإقليمي . ويتميز  
الشيسيت ببلوراته الدقيقة الحجم ، وبنسيجه الورقي أو الصفائحي ،  
 والمعروف بالنسيج الشيسيتوزي . وقد تؤدي الميكا إلى فصل صفائح  
 الشيسيت بعضها عن البعض الآخر حيث تتركز للميكا على شكل وريقات  
 صفائحية رقيقة جداً وتفصل كل وريقة عن الأخرى بواسطة صفحات  
 أخرى من الكوارتز

ولما كان الشيسيت صخراً متحولاً من أنواع مختلفة من الصخور  
 النارية والرسوبية معاً فيمكن أن يميز أنواع ثانوية متعددة منه ذات  
 خصائص متنوعة . ويوضح البيان الآتي بعض أنواع من الشيسيت  
 والصخور الأصلية التي تحول عنها :

#### أنواع صخور الشيسيت الصخور الأصلية التي تحول عنها

كلوريت - شيسيت	{	الصلصال
ميكا - شيسيت		
هورنبلند - شيسيت	{	البازلت والجابرو
بيوتيت - شيسيت		
كوارتز - شيسيت	—————	حجر رملي غير نقي .
كالسيت - شيسيت	—————	حجر جيري غير نقي .

ويتألف الشيسيت أساساً من نسبة مرتفعة من الكوارتز والفلسبار  
 ونسب قليلة من معادن الأوجيت والهورنبلند والجارنت (العقيق)  
 ، والأبيدوت والماجنتيت - وعندما ترتفع نسبة الكلوريت والأبيدوت في  
 الصخر فإنه يظهر باللون الأخضر ويعرف باسم الشيسيت الأخضر Green  
 schist .

### النيس : Gneiss

يتألف صخر النيس من حبيبات واضحة خشنة كبيرة الحجم نسبياً وتبعاً لدرجة تبلوره يتكون هذا الصخر في المناطق العالية التأثير بعمليات التحول وخاصة في مناطق التحول الإقليمي . ويتمثل في النيس أشكال غير واضحة تماماً من التشقق ولكن أهم ما يميزه في الطبيعة هو تخطيطه بأشرطة ملونة مميزة في الصخر .

وإذا كانت هناك بعض الشوائب المعدنية مختلطة بصخر النيس ، فإنه عند عمليات التحول تتخذ هذه الشوائب أشكالاً ملتوية مختلفة بفعل تعرضها للحرارة والضغط ، وإن دلت هذه الأشكال الملتوية للمواد الشائبة المعدنية على شيء فإنما تدل على تعرض الصخر لعمليات التحول وإعادة الترتيب الذري لمعادن الصخر (شكل ٦٥) . وإذا كان صخر النيس قد تحول عن الصخور النارية مثل الجرانيت ، والجابرو ، والديوريت فإن حبيباته الصخرية تترتب على شكل وريقات رقيقة متوازية حيث تتعاقب كل من حبيبات الكوارتز والفلسبار والمعادن



( شكل ٦٨ ) قطعة من صخر النيس المتحول ويمثل فيه مواد حبيبية مفتتسية على شكل أشرطة متتنية بعد تأثيرها من الأخرى بفعل عمليات التحول .

الحديدية والمغنيسية فوق بعضها البعض . أما إذا كان صخر النيس قد تحول عن الصخور الرسوبية الصلصالية وخاصة من الجراى واكس Graywackes ( صخر طيني رملى رمالى اللون ) فإن الصخر فى هذه الحالة يتشكل بخطوط رقيقة من الكوارتز والفلسبار ويفصل بينها شرائح رقيقة من المعادن الصفائحية أو الليفية النسيج وذلك مثل الكلوريت والميكا والجرانيت والهوردبلند ، والكائيت والسليميت . ( شكل ٦٦ )

ويسمى صخر النيس باسم المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيبه ومن ثم يمكن أن نعيـز النيس للميكاى Mica - gneiss ، والنيس الهوردبلندى Hornblende - gneiss والنيس الجرانيتى Granite - gneiss .



( شكل ٦٦ ) قطعة من صخر النيس للتحول يتضمن فيها إعادة ترتيب المعادن على شكل خطوط طولية متوازية . وفى الصورة يتضح أن الخطوط المعدنية الفاتحة اللون تتألف من معادن الأورثوكلاز والكوارتز ، أما الداكنة اللون فتتألف من الميكا السوداء والمعادن الحديدية - المغنيسية .

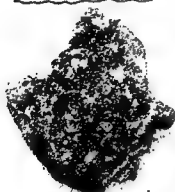
### الرخام : Marble

يتحول هذا الصخر عن الكلسيت والدولوميت ، ويزداد تكوينه خلال عمليات التحول الإحتكاكي والإقليمي . ومن مميزاته أنه عديم التشقق وبلوراته كبيرة الحجم . وتظهر اتجاهات بلورات الكلسيت في خطوط متوازية تبعاً لتأثير الضغط الشديد الذي صاحب عمليات التحول .

وعلى الرغم من أن اللون الأساسي للرخام هو اللون الأبيض الثلجي للرخام Snow-white . غير أنه في معظم الأحيان تختلط فيه الشوائب المعدنية الأخرى وخاصة خلال عمليات التحول التي تعمل بدورها على تشكيل ألوان الصخر . ومن ثم هناك الرخام الأسود تبعاً لإرتفاع نسبة المواد الفلجمية البيتومينية والرخام الأخضر نتيجة لكثرة الديبوسيد والهورنبلند ، والسرينتين والطلق ، والرخام الأحمر تبعاً لإرتفاع نسبة أكسيد الحديد والهيماتيت في الصخر ، والرخام البنى تبعاً لإرتفاع نسبة الليمونيت في الصخر .

وقد يتمثل في الرخام رواسب معدنية كريمة مثل العقيق Garnet والياقوت الأحمر Rubies ، وإذا تحول الرخام عن صخور جييرية تكثر فيها الحفريات فإن الأخيرة تكسب الرخام ألواناً جميلة زاهية بعد عملية تحولها وتعرضها للحرارة والضغط . ويوجد الرخام أساساً في المناطق التي تعرضت تكويناتها الصخرية لعمليات التحول الإقليمي وتقع تكويناته فيما بين الشيبست الميكائي والفليت .

# المعادن



Sphalerite  
زنك  
سفريت

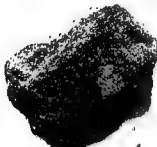
الرمح الاسفر / كبريتور اوريثع  
Orpiment



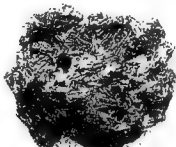
Molybdenite  
الكروم (موليدونيت) لثنية لنداز



Sphalerite  
كبريتيد الزنك  
سفريت



Covellite  
الكوفيت



Stibnite  
ستيبينيت



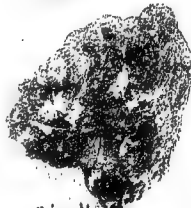
Sphalerite  
سفريت زنك



Sphalerite  
زنك



Selenite  
سيلينيت



Bournonite  
البورنيت



Chalcocite

البيريت



الكالكوبيريت

Chalcocite



الموليدونيت

Molybdenite

(شكل ٣٧) انواع المعادن



صخور رسوبية



(شكل ٦٧ ب) نماذج من الصخور الرسوبية





(شكل ٣٦) أشكال معدن الكوارتز مع اختلاطه بالشوائب



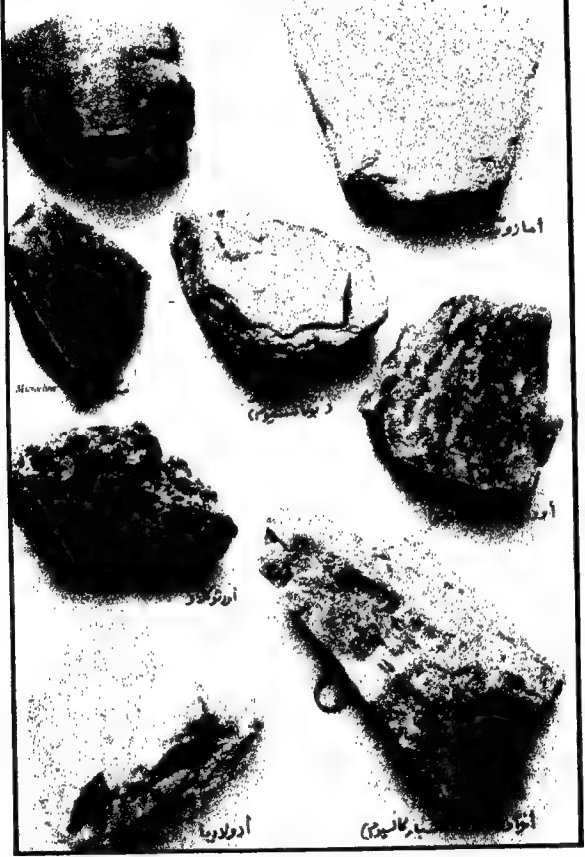
# الصخور المتحولة



(شكل ٦٩) نماذج من الصخور المتحولة



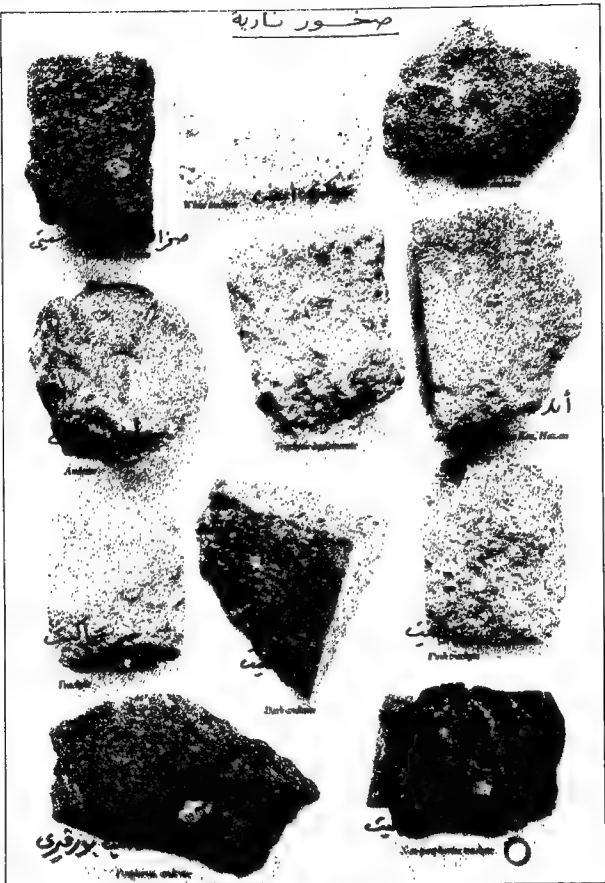
# المعادن



شكل لبعض نماذج من أنواع المعادن



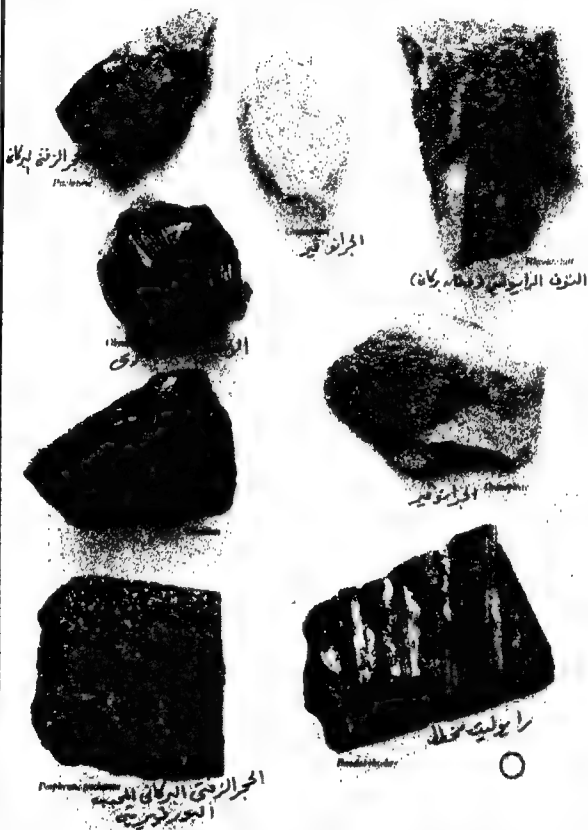
# صخور نارية



(شكل ٥٧ ب) بعض نماذج من الصخور النارية



مختور سناریه



(شكل ٥٧) بعض نماذج من الصخور النارية



الصخور الرسوبية



(شكل ٦٧) نماذج من الصخور الرسوبية



## الباب الثالث

القوى التي تؤثر في تشكيل سطح الأرض

مقدمة : حركات توازن قشرة الأرض

الفصل السادس : القوى الداخلية الفجائية السريعة

أولاً - الزلازل

ثانياً - البراكين

ثالثاً - الانفورات والينابيع الحارة

الفصل السابع : القوى الداخلية التدريجية البطيئة

أولاً - الالتواءات (حركات الشئ والطوى)

ثانياً : الصدوح (الانكسارات)

الفصل الثامن : القوى الخارجية وأثرها في تشكيل سطح الأرض

أولاً - فعل التجوية : ( أ ) التجوية الميكانيكية

( ب ) التجوية الكيميائية

ثانياً - فعل عوامل التآكل : ( أ ) المياه الجارية السطحية

( ب ) المياه الجوفية

( ج ) فعل الرياح في مناطق الصحارى

الحارة الجافة

( د ) فعل البحر

( هـ ) فعل الجليد



## مقدمة

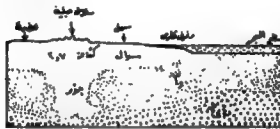
### حركات التوازن الأيزوستاتيكي للأرض

رجح هذا التعبير الأستاذ داتون Dutton في عام ١٨٨٩ وهو تعبير مشتق من اللغة اليونانية القديمة Isostaslos ومعناها « حالة توازن أو ثبات » equipoise ، وقد استخدم هذا التعبير ليندل على حالة التوازن بين القارات وما يتمثل فوقها من هضاب وجبال عالية وبين ما يقع تحت قشرة الأرض من مواد باطنية <sup>(١)</sup> . وقد شبه داتون توازن أجزاء سطح الأرض فوق المواد السفلية من قشرة الأرض (أو بمعنى آخر طوفان جبال السيل فوق بحار السيماء) بطوفان جبال الثلج العائمة فوق مياه البحار القطبية. ويمكن تحقيق هذه الصورة علمياً في العمل عند وضع كتل أو مكعبات من الخشب في حوض به ماء، فيلاحظ المشاهد أن كتل الخشب تطفو فوق سطح الماء بارتفاعات تتناسب مع أطوالها وأحجامها المختلفة ويطلق على هذه الحالة تعبير « حالة التوازن اللائي » (شكل ٧٠) State of hydrostatic balance ومن هنا استنتج داتون بأن هناك حالة من التجاوب الدائم بين مستوى سطح السيماء ووزن السيل الطافي فوقها ، حيث أن كل نقص في أحدهما لابد أن يعوضه زيادة في الآخر وهكذا تتميز قاعدة قشرة الأرض عن بقية مواد باطن الأرض عن طريق الضغط المتساوي فوق السيماء Isopistic or Uniform Pressure وعند حالة التوازن التام يطلق على القشرة الأرضية بأنها متوازنة فوق ما تحتها من مواد ويسهل أيضاً تحديد مستوى التوازن Isopiestic Level or level of compensation الذي يفصل بين الكتل الصخرية الطافية المكونة للجبال والهضاب وبقية المواد السفلية للقشرة الأرضية وباطن الأرض. ومن نتائج دراسات داتون يتضح أن مستوى التوازن يقع على أعماق متشابهة من سطح

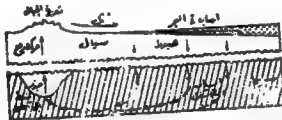
(1) Holmes, A., 'Principles of physical geology' London (1595) , 15 -17



نمط حالة التوازن المائي وتوزيعها بطرفات كل  
المقطع فوق مدار السيل

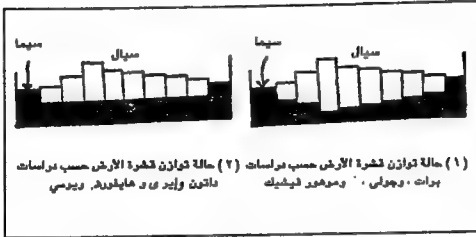


المنطقة بين المطرعات الشمالية والجنوبية لا يمر بها الماء كغيره من المناطق  
تتباين في أسسها الطبقات الرسوبية



استنتاج وضع إعادة توازن كتلة الأرض بالنسبة لما يمر به  
على سطح الأرض من عمليات التربة والرسوب

الأرض، ويعتمد على طول استقامته أسفل التكوينات السيلية. (شكل ٧١).



(شكل ٧١) مستوى التوازن التكتوني حسب دراسات هرات و داتون

وقد أوضحت الأبحاث الجيولوجية في مرتفعات بيرو في عام ١٧٣٥ وبعض الدراسات الحديثة عند سفوح مرتفعات الهيملايات وسواحل خليج بسكاي أن الثقل للغناطيسي لتكوين هذه المناطق (بدراسة تغير اتجاه عمود البندول الممغنط) يتأثر بشدة بالتركيب المعدني للصخور السفلية التي تطفو فوقها المرتفعات والجبال على سطح الأرض.

وهكذا تحقق العلماء بأن الهضاب والجبال العالية فوق سطح الأرض لا تنفق قاعدتها مع مستوى سطح الأرض الذي تقع عليه ، بل قد يتكون لها جذور عميقة جداً يزيد عن خمسة أمثال ارتفاع هذه الجبال فوق سطح الأرض المجاورة . وكلما تعرضت هذه الجبال لحركات ارتفاع جديدة تزيد من منسوبها فوق منسوب سطح الأرض المجاورة، أدى ذلك إلى زيادة أعماق جذور هذه الجبال في باطن الأرض، أو بمعنى آخر أن هناك دائماً حالة من الاحتفاظ على الاتزان أو التوازن الاستاتيكي بين أعالي قشرة الأرض وأجزائها السفلية .

وليس من المحتم أن تقع الجذور الباطنية للجبال في طبقات السيعا تحت أعالي القمم الجبلية العالية التي تتمثل فوق سطح الأرض، ذلك لأن

موقع الجبال قد يتغير ويتشكل على مرور الزمن بفعل عوامل التعرية ، ومن ثم نلاحظ اهتزاز عمود البندول للقرش لطبيعة الثقل المغناطيسي للمصخور ، عند كشف جذور السیما للجبال فی منطقة مرتفعات البرانس يشير إلى قاع خليج بسكاي بدلاً من الإشارة إلى مرتفعات البرانس العالية ، وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن قاع خليج بسكاي وخاصة فی القسم الجنوبي منه يتألف من تكوينات السیما العالية الكثافة ، وقد تمتد هذه التكوينات إلى الجنوب من خليج بسكاي وأسفل المرتفعات الشمالية لشبه جزيرة أيبيريا على شكل جلود لهذه المرتفعات.

وفي مرتفعات الهمالايا تكررت هذه المشاهدات الجيوفيزيائية حيث لم يجذب عمود البندول للمفند بشدة نحو هذه المرتفعات كما كان يظن من قبل ، ومن ثم اعتقد بعض الدراسين أن السبب فی ذلك قد يعزى إلى تدنى كثافة مصخور السیما التي تقع أسفل جبال الهمالايا بالنسبة لبقيّة مواد السیما السفلية المجاورة من جهة أخرى ، أو نتيجة لهذين العاملين معاً.

وإذا استطاعت عوامل التعرية المختلفة إزاحة بعض القمم الجبلية وتكوينات المرتفعات فی مناطق ما على سطح الأرض ، ثم إرساب هذه المفنتات فوق مناطق الرقارف القارية وقيعان البحار ، فإن ذلك يؤدي بدوره إلى زيادة الضغط الواقع على طبقات السیما تحت الرقارف القارية ، وبزيادة التكوينات الإرسابية فوقها ، يزداد امتداد جلودها السیالية فی طبقات السیما السفلية ، ويترتب على ذلك انسياب السیما السفلية ( بفعل الضغط الواقع عليها من أعلى إلى أسفل ) وانتقالها إلى مواقع جديدة أسفل قشرة الأرض السیالية . وتتعرض هذه المناطق الأخيرة من جديد لفعل حركات الرفع التكتوني ، وتحث عمليات إعادة التوازن الأیزوستاتيكي للقشرة الأرضية (١) (شكل ٧١) Isostatic re-adjustment

وبدراسة سرعة اللوحات الزلزالية التي تخترق طبقات الأرض ، ومن نتائج الأبحاث السيزمولوجية تبين أن عمق بعض السلاسل من جلود

(1) Holmes, A., "Principles of physical geology " London (1959).p. 32.

السيما يزيد عن ٤٠ كم، في حين نجد أن سمك السيل في مناطق السهول الواقعة بالقرب من مستوى سطح البحر يتراوح من ١ إلى ١٢ كم، وتختلف طبقات السيل تماماً تحت القاع الحقيقي للمحيطات .

ويعتقد هولمز بأن القسم الأعلى من طبقات السيماء يتألف من صخور ساخنة نسبياً، ترتفع فيها نسبة الغازات ، وتساعد هذه الغازات في مواد السيماء على تكوين تيارات حرارية ضعيفة تتجه نحو جذور المرتفعات الجبلية. وتؤدي حركة انسياب السيماء إلى استمرار تعرض الجبال لحركات رفع تكتونية. ومن ثم يطلق على مثل هذه المناطق بأنها مناطق لم يستقر فيها التوازن الأيزوستاتيكي -(التكتوني) - Out of isostatic balance (شكل ٧١).

وإذا كان التوازن الأيزوستاتيكي يتشكل بالتغيرات التكتونية التي تحدث في باطن الأرض، فإن العوامل الخارجية لسوق سطح الأرض التي تقوم بعمليات النحت والنقل والإرساب تؤثر كذلك في حدوث عمليات استقرار أو عدم استقرار قشرة الأرض. وحدث حركات توازن تحت تأثير عوامل خارجية تعرف باسم التوازن الأيوستاتي أو التغيرات الأيوستاتيكية Eustatism or eustatic changes هذا إلى جانب تراكم الجليد في المناطق القطبية يؤدي إلى زيادة الضغط الواقع على الطبقات السفلية في حين أن انصهاره يخفف الضغط الواقع على هذه التكتونيات، ولهذه العمليات أثرها في حركات توازن القشرة الأرضية . وقد أوضحت الأبحاث الجيولوجية أن المناطق الوسطى والشمالية من قارة أوروبا وقارة أمريكا الشمالية التي كانت مغطاة بالغطاءات الجليدية خلال العصر البلايوسيني قد تعرضت ولا تزال تتعرض من جديد لحركات الرفع التدريجي بعد انصهار تلك الغطاءات الجليدية التي كانت تتجمع فوقها . وهكذا نلاحظ أن بعض سواحل اسكتلندا والنرويج والدانمرك تتعرض لعمليات الارتفاع التدريجي بعد إزالة الجليد الذي كان مجتمعاً فوق أراضيها. ويرجع الأستاذ هولمز بأن المناطق التي سبق أن غطيت بالجليد البلايوسيني قد ترتفع إلى نحو ٧٠٠ قدم عن منسوبها الحالي حتى تصل إلى حالة ثابتة من التوازن الأيوستاتيكي Eustatic Balance

وتتشابه آراء الأستاذ هايڤورد Hayford والأستاذ إيرى Airy مع آراء هذه المجموعة من الباحثين بأن كثافة كتل السيلال فوق سطح الأرض تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاع كل منها، كما رجحت أبحاثهم بأنه عند عمق ١٠٠ كم من سطح الأرض تتلاشى الاختلافات الجوهريّة في كثافة صخور السيماء، وعلى ذلك يتميز مستوى التوازن Isopiestic Level ، باستقامته ووقعه عند أعماق متشابهة بالنسبة لمختلف حجم الكتل السيلالية القارية التي تطفو فوقه.

أما الأستاذ برات Pratt فقد اعتقد بأنه لا توجد أدلة يقينية تؤكد تكوين ما يسمى بمستوى التوازن، بل أنه ليس من الضروري وجود مثل هذه المستوى «الافتراضية» على أعماق متشابهة من سطح الأرض (راجع شكل ٧١).

وقد حقق هذا الرأي كذلك الأستاذ اليوغوسلافي موهروفيتش في عام ١٩٠٩ وأكد بأن مواد السيماء نفسها تختلف فيما بينها من حيث الكثافة تبعاً للمواد التي تدخل في تركيبها، وأكد أن كثافة مواد باطن الأرض تزداد كلما اتجهنا صوب مركز الأرض، وهذا من مستوى التوازن رجح هذا الباحث خطأً جديداً هو ما يسمى بالحد الموهروفيتشي Mohorovicic Discontinuity الذي تبلغ عنده سرعة الموجات الزلزالية ٨,١ كم / ثانية وتقل سرعة الموجات عن ذلك فوقه، في حين تزيد عن ذلك أسفل منه. ويفصل هذا الحد بين قشرة الأرض (بتكويناتها من السيلال والسيما) وبين طبقة الغطاء الداخلي للأرض Mantle .

من هذا العرض يتضح أن قشرة الأرض تحاول دائماً أبداً أن تحتفظ على استقرار توازنها، وتتأثر عمليات الاستقرار التوازني لقشرة الأرض بفعل كل من العوامل الخارجية إلى جانب الآثار الناجمة عن العوامل أو القوى الداخلية التي تشكل باطن الأرض. ومن ثم فإن مجال موضوع هذا الفصل هو دراسة للقوى الخارجية والداخلية التي تؤثر في تشكيل سطح الأرض.

## الفصل السادس

### القوى الداخلية الفجائية السريعة

تتأثر مواد قشرة الأرض بقوى مختلفة تعمل على تشكيلها بمجموعات متباينة من الظواهر التضاريسية. ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن الظواهر التضاريسية لسطح الأرض ما هي الا نتاج كل من التركيب الصخري والقوى أو العوامل التي شكلت الصخور خلال فترات التاريخ الجيولوجي الطويل ، ويمكن تصنيف القوى المختلفة التي تشكل مظهر سطح الأرض وظواهره إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

#### ١- القوى الداخلية : Intrusive or endogenetic Forces

وهي عبارة عن القوى المختلفة التي تنشأ في باطن الأرض وتؤثر في تشكيل قشرتها الخارجية. وقد تظهر آثار هذه القوى على سطح الأرض بصورة فجائية سريعة، ويطلق عليها في هذه الحالة تعبير القوى الداخلية الفجائية السريعة ومن أمثلتها الزلازل والبراكين والنفورات الحارة . في حين نلاحظ أن بعض القوى الداخلية الأخرى تشكل قشرة الأرض بصورة تدريجية وبطيئة جداً - قد تتخذ الملايين من السنين لكي تتم فعلها - وتعرف هذه المجموعة الأخيرة بتعبير القوى الداخلية التدريجية البطيئة ومن أمثلتها حركات الثني والطى (الالتواءات المحدة والالتواءات المقعرة) والصنوع (الانكسارات).

#### ب - القوى الخارجية : Extrusive or Exogenetic Forces

وهي عبارة عن القوى المختلفة التي تنشأ فوق سطح الأرض نتيجة لتفاعل الأغلفة الجوية والمائية والنباتية مع قشرة الأرض وتشكيل سطح هذه القشرة بظواهر تضاريسية متباينة بفعل النحت والنقل والإرساب . ويمكن تصنيف القوى الخارجية التي تؤثر في تشكيل سطح الأرض إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

#### ١- فعل التجوية : Weathering

ويشمل أثر فعل التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية ، هذا إلى

جانب الأثر الناتج عن فعل الكائنات الحية والإنسان في تشكيل سطح الأرض .

## ٢- فعل التعرية: Erosion

ويشمل أثر فعل عوامل التعرية المختلفة وخاصة التعرية النهرية والبحرية والجليدية وفعل الرياح والمياه الجوفية في تشكيل سطح الأرض .  
وحيث يتعرض سطح الأرض للفعل عوامل متعددة من عوامل التعرية المختلفة متفاوت عملها من إقليم إلى آخر، بل ومن زمن جيولوجي إلى آخر فقد تميزت أجزاء سطح الأرض بدورها بظواهر تضاريسية متنوعة كذلك من إقليم إلى آخر. بل وتختلف هذه الظواهر التضاريسية من زمن إلى آخر في نفس الإقليم الواحد.

وينبغي أن نضع في الاعتبار عند دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض بأنه من الخطأ فصل أثر فعل القوى الداخلية عن ذلك الناتج بفعل القوى الخارجية ، فكل من تلك القوى تعمل معاً في نفس الوقت في المكان الواحد. فمعد تعرض جزء من سطح الأرض بفعل حركات الرفع التكتونية البطيئة تعمل عوامل التعرية المختلفة على إزالة التكوينات الصخرية اللينة التي ترفع إلى أعلى بفعل العوامل الداخلية. ومن ثم فإن القوى الداخلية والقوى الخارجية فعلاً متلازمان ومتربطان يتفاعل كل منهما مع الآخر بل ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر عند دراسة تكوين الظواهر التضاريسية لسطح الأرض ومراحل تشكيل تلك الظواهر. وعلى الرغم من ذلك ففي دراستنا هذه سنعرض لمناقشة تأثير فعل كل من تلك القوتين الداخلية والخارجية على حدة، حتى يمكن للدراس أن يدرك بسهولة ووضوح أثر كل منهما في تشكيل سطح الأرض وتقييم هذا الأثر.

## القوى الداخلية الفجائية السريعة

### أولاً - الزلازل

عبارة عن هزات سريعة وقصيرة المدى تتعرض لها قشرة الأرض

خلال فترات متقطعة نتيجة للاضطرابات الباطنية ويستند حدوث مثل هذه الهزات الأرضية مع الثورات البركانية العنيفة أو مع حركة التصدع الكبرى ، وعند احتكاك الصخور بشدة على طول أسطح الصدوع العميقة. وقد تهتز أجزاء قشرة الأرض بشدة بحيث يشعر بها الإنسان في حين هناك آلاف من الهزات الضعيفة قصيرة المدى لا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية الدقيقة. وتتميز بداية حدوث الهزات الزلزالية بضعفها ثم مرور ثوان قليلة جداً تنبعث الهزات العنيفة ويمضي ثوان أخرى تتناقص قوة الهزات إلى أن تلاشي نهائياً ، ويظل الإنسان على موعد آخر مع حدوث هزات زلزالية أخرى جديدة.

وقد ينجم عن حدوث الزلازل العنيفة تدمير المنشآت العمرانية وهلاك أعداد كبيرة من السكان . ومن بين تلك الزلازل المدمرة العنيفة زلزال شنشي (الصين) في عام ١٥٦٦ والذي أدى إلى مصرع نحو ٨٣٠ ألف نسمة و زلزال كلكتا في عام ١٧٣٧ وراح ضحيته نحو ٢٠٠ ألف نسمة و زلزال اكواود في عام ١٧٩٦ وأدى إلى مصرع نحو ٤١ ألف شخص و زلزال كانسو في الصين عام ١٩٢٠ وأدى إلى مصرع نحو ١٨٠ ألف شخص. ومن أحدث الزلازل المدمرة زلزال بيرو الذي حدث في ٢ يونيو عام ١٩٧٠ لمدة ٤٠ ثانية فقط، ومع ذلك ترك الزلزال وراءه منطقة مدمرة تماماً بلغت مساحتها نحو ١٢٨.٠٠٠ كم<sup>٢</sup> ، وراح ضحيته أكثر من ٥٠ ألف قتيل و ٢٠ ألف جريح، وتشرّد بسببه أكثر من ٢٠.٠٠٠ شخص، وقد أزال الزلزال اثنتا عشرة مدينة وقرية كبيرة من بيرو ، هذا إلى جانب تدمير أكثر من ٩٠ ٪ من مدينة هواراز (٢٠ ألف نسمة) ونحو ٧٠ ٪ من مدينة تشيمبوتوي (٨٠ ألف نسمة) وكانت تلك المدينة الأخيرة تعرف باسم سويسرة الصغيرة أو سويسرة بيرو.

وقد شهدت مدينة شيراز جنوب إيران في يوم ١٠ أبريل عام ١٩٧٢ زلزالاً مروعاً ، يعد من أعنف الزلازل التي تعرضت لها الأراضي الإيرانية. وقد قدر عدد ضحايا هذا الزلزال بأكثر من ٢٥ ألف شخص، ودمر الزلزال أكثر من ثلاثين قرية في المنطقة المجاورة لمدينة شيراز. وبلغت درجة

الزلازل ٩,٥ وقد أدى إلى اهتزاز منطقة بلغت مساحتها نحو ٢٠٠ كم<sup>٢</sup> ومن بين القرى التي اختفت معالمها تماماً بفعل هذا الزلزال، قرى كاريزين ، وجيهير ، وهنجام، ومبارك حاد.

أما زلزال ماناجوا في نيكارجوا فقد حدث فجأة في يوم ٢٤ ديسمبر عام ١٩٧٢ وأدى إلى مصرع أكثر من ٥٠ ألف نسمة ، وإصابة أكثر من ٢٠٠ ألف نسمة بجروح بالغة من جملة سكان ماناجوا الذي يبلغ عددهم حوالي ٣٠٠ ألف نسمة. وقد نجم عن هذا الزلزال حدوث الحرائق الرهيبة وتشقق سطح الأرض.

وحاول الإنسان منذ القدم تفسير نشأة الزلازل وأسباب حدوثها ليهتدى إلى تلك القوى الخفية التي تعمل على تدمير منشأته فوق سطح الأرض. وفي بداية العصور التاريخية اعتقد الإنسان بأن الأرض مثبتة فوق رأس حيوان ضخم، ولكن نتيجة لتحرك جسم هذا الحيوان ببطء تحدث الهزات الزلزالية في الأرض . واختلفت التفسيرات حول نوع هذا الحيوان الضخم، فاعتبره اليابانيون عنكبوتا ضخماً يحمل الأرض بين طيات نسجه ، وقلته الصينيون حوتاً ضخماً في حين رمز إليه الهنود الحمر بسلحفاة هائلة الحجم، كما اعتقدت جماعات اللاماس Lamas في منغوليا بأن الآله بعد أن خلق الأرض ثبتتها فوق ظهر ضفدعة هائلة الحجم ، وفي كل مرة عندما تحرك الضفدعة رأسها أو قدميها تتعرض الأرض لحدوث الهزات الزلزالية (شكل ٧٢) . أما الفيلسوف الإغريقي أرسطو في القرن الرابع قبل الميلاد اعتقد بأن نشأة الزلازل ترجع إلى تسرب السنة الساخنة من الغازات والهواء من باطن الأرض عبر الشقوق والفتحات البصرية. وأكد بأنه قبيل حدث الزلازل سرمان ما يتغير الطقس ويصبح الجو أكثر رطوبة نتيجة لتسديم الهواء الرطب الساخن من باطن الأرض. وربما ساهمت آراء أرسطو بعض الشيء في ظهور نظرية تكوين الزلازل المصاحبة للبراكين والتي ظهرت في منتصف القرن الثامن عشر.



(شكل ٧٢) العالم فوق رأس الصمد ١٠٠ تصخمة حسب

اعتقاد جماعات اللامس في متفوليا.

### نشأة الزلازل

تنشأ نتيجة للاضطرابات التي يتعرض لها باطن الأرض، ومع ذلك يمكن أن نميز بعض العوامل الرئيسية التي تؤدي إلى حدوث الزلازل ، وقد تصنف الزلازل إلى مجموعات مختلفة كذلك تبعاً للعوامل التي ساعدت على حدوثها ، ومن بين هذه المجموعات :

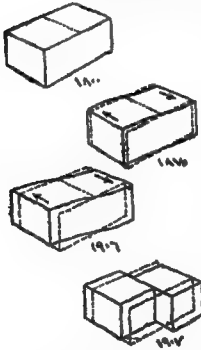
#### ١- الزلازل المصاحبة لحدوث التصدع :

أكدت الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن أهم أسباب حدوث الزلازل يعزى إلى تعرض صخور قشرة الأرض لحركات صدعية عنفية<sup>(١)</sup>. وحقق العلماء هذه النتيجة بتجارب عملية ، وذلك بوضع قطعة صخرية تحت ضغط مائل يماثل الضغط الواقع عليها وهي في باطن الأرض على عمق ١٠٠ ميل من السطح. وقد تبين بعد إجراء هذه التجربة أن

(1) Dom Leet, L. and Hudson S., " Physical Geology" Prentice Hall.(1965), p.300.

الصخر سرعان ما يتغير شكله، ثم يتمزق في النهاية إلى شطرين أو أكثر وذلك بفعل التصدع (الانكسارات).

واستطاع العلماء تحقيق هذه التجارب على مشاهدات حقلية في الطبيعة وذلك عند دراسة الزلزال الذي صاحب حدوث صدع سان أندرياس San Andreas Fault في كاليفورنيا عام ١٩٠٦ فقد قامت مصلحة المساحة الجيولوجية بدراسة التكوين الجيولوجي لمنطقة صدع سان أندرياس قبل حدوث الزلزال بأشهر قليلة. وقد أوضحت هذه الأبحاث الجيولوجية بأن مسخور المنطقة كانت تتعرض لحركات رفع تدريجية بسيطة Warming وتغير تدريجي مستمر في شكل الطبقات ثم نجم عن هذه الحركات في النهاية تصدع الطبقات جانبياً بشدة وحدث الزلزال في عام ١٩٦٠



وبدس الأستاذ H.F. Reid تطور حدوث حركات الرفع التدريجية والزحزحة الجانبية للطبقات الصخرية في ثلاث فترات متعاقبة من ١٨٥١ إلى ١٨٦٥، ومن عام ١٨٧٤ إلى ١٨٩٢، ثم من عام ١٩٠٦ إلى ١٩٠٧ (شكل ٧٤). وأكد نتيجة لذلك بأنه كلما كانت الحركات الصدمية شديدة أدى إلى حدوث زلازل هائلة ومدمرة، في حين قد لا تحدث الزلازل إذا كانت

شكل (٧٤) تطور مراحل الحد في كتل مسفود

منطقة كاليفورنيا والتي أدت إلى حدوث صدوع

هائلة، وصاحبها زلازل كاليفورنيا في عام ١٩٠٦

الحركة الصدمية ضعيفة. ومما يساعد على تكرار حدوث حركات

التصدع على نفس أسطح الصدوع Fault planes القديمة تأثر الطبقات الصخرية بمجموعات من الصدوع مثل صدع وادي أوين Owens Valley Faults وادي ديث Death Vally Faults (شكل ٧٥).

ومن بين نماذج الزلازل التي تكونت على طول أسطح الصدوع العميقة زلزال السكا في عام ١٨٩٩ ، حيث تكون هذا الزلزال نتيجة لتحرك الطبقات رأسياً على طول سطح صدع (انكسار) قديم. وقد ارتفعت الطبقات التي رُميت إلى أعلى نحو ٤٧ قدماً على طول سطح الصدع. وتعزى أسباب حدوث الفالسية العظمى من الزلازل في اليابان إلى شدة الحركات الصدعية التي تتأثر بها صخور اليابان . ومن أشهر الزلازل الصدمية في اليابان ذلك الذي تعرضت له منطقة طوكيو ويوكوهاما في سبتمبر عام ١٩٢٣ .



شكل (٧٥) الصدوع العميقة في منطقة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وبداية الخط للتلوي على مناطق حدوث الزلازل على طول أسطح الصدوع.

#### ب - الزلازل المصاحبة لحدوث البراكين :

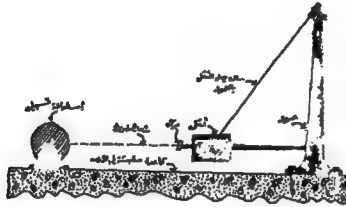
كان يعتقد من قبل أن البراكين وحدها هي التي تساهم في حدوث هزات أرضية عنيفة، وأكد هذا الرأي ظاهرياً تشابه التوزيع الجغرافي الحالي لكل من الزلازل والبراكين خاصة حول النار بالمحيط الهادئ. ولكن تبين من الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن حدوث الزلازل بحلقة النار بالمحيط الهادئ لا يرجع إلى سبب الثورات البركانية، بل إلى خصائص التركيب الجيولوجي لتلك المناطق الحديثة التكوين والضعيفة جيولوجياً والتي لم تستقر طبقاتها الصخرية بعد ، وتعرضها الدائم لفعل التمدد. وقد تتعرض جزر اليابان أحياناً إلى ثلاثة زلازل في يوم واحد دون أن تنبثق اللافا من أى بركان موجود بالجزر. وليس للزلازل التي تعرضت لها منطقة مسيماً بجزيرة صقلية أى ارتباط بالنشاط البركاني المجاور والممثل في بركاني إتنا واسترمبولي.

وقد اتضح من الدراسات الجيولوجية بأنه أثناء حدوث بعض الثورات البركانية الشديدة، قد تتكون بعض الزلازل في تلك المناطق الضعيفة جيولوجياً. وتتميز المراكز الباطنية للزلازل التي تصاحب حدوث البراكين بأنها قريبة من سطح الأرض، وتقتصر موجاتها الزلزالية على منطقة محدودة الأبعاد وتتركز بوجه خاص في منطقة البراكين نفسها. ومن أشهر الزلازل البركانية تلك التي صاحبت حدوث بركان كراكاتاو Krakatau في خليج سوندا Sunda (بين جزيرتي جاوه وسومطرة) في عام ١٨٨٣، وثورات بركاني مونالوا Manua Loa وكيلوييا في جزر هاواي.

#### السيزموجراف والموجات الزلزالية

عندما تنبعث الهزات الأرضية من المركز الباطني للزلازل تنطلق من هذا المركز طاقة تؤدي إلى تكوين نبضات قوية في الصخور تسري فيها على شكل موجات بحيث تكون شديدة في المركز السطحي للزلازل وضعيفة كلما بعدت عنه . وإذا كان الإنسان لا يشعر إلا بالهزات الأرضية القوية والمنيفة فإن أجهزة رصد الزلازل المعروفة بأجهزة السيزموجراف

Seismograph تسجل جميع الهزات الأرضية الزلزالية على اختلاف توتها. ويتألف جهاز السيزموجراف في أبسط صورة من ثقل مثبت على عمود أفقى ومشدود بسلك مربوط إلى قائم ثابت كذلك. ويفصل العمود الأفقى الذى فيه الثقل عن العمود القائم الرأسى مفصلة سريعة الحركة. أما على الجانب الآخر من الثقل فيثبت منه إبرة أو قلم على الأجهزة القديمة) أو مرآة تعكس الضوء (على الأجهزة الحديثة) . وتتحرك الإبرة حول محور خاص بحيث تكون حركة الإبرة أو الشعاع عمودية على اتجاه محور الاستطوانة. ويلصق على الاسطوانة ورق خاص مقسم إلى أيام وساعات ودقائق وثوان ويسجل فوقه شكل الموجات الزلزالية فى أوقات حدوثها. (شكل ٧٦) .



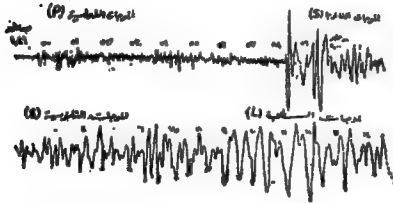
شكل (٧٦) السيزموجراف فى أبسط صورة له .

وعلى هذا الأساس عند اهتزاز القاعدة المأهولة بالثقل يتحرك الجهاز ويتحرك الثقل فى اتجاه عمودى على اتجاه اهتزاز القاعدة. ولكن يتحرك السلك الذى يتصل بالثقل وتسجل الإبرة أو الشعاع الضوء فوقها خطوط

متعرجة هي عبارة عن شكل الموجات الزلزالية. وعند فحص الورق الذي كان مثبتاً في اسطوانة التسجيل يتضح انه يمكن تمييز عدة مجموعات مختلفة من الزلازلات تتلخص فيما يلي:

#### ١. الموجات الأولية: (P) Preliminary Waves

وهي موجات سريعة جداً، تشبه الموجات الصوتية وأول من يصل إلى آلات الرصد الزلزالية وذبذباتها قصيرة، ومن ثم يطلق الباحثون عليها تعبير موجات الشد والضغط Push and Pull Waves ، وتتراوح سرعة الموجات الأولية من ٥,٥ إلى ١٢,٨ كم / ثانية. (شكل ٧٧).



شكل (٧٧) موجات زلزال رومانيا في ١٠ نوفمبر ١٩٤٠ - لاحظ الوقت الذي تسجل خلاله كل من للموجات المختلفة.

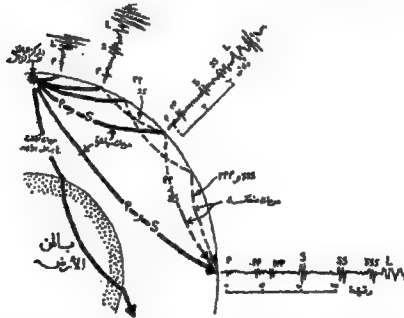
#### ٢. الموجات الثانوية: (S) Secondary Waves

وهي موجات اهتزازية Shake waves أبطأ سرعة من الموجات الأولية، ومن ثم تصل بعدها مباشرة إلى محطات تسجيل الزلازل. وتتخذ شكل ذبذباتها اتجاه عمودي على طول امتداد خط التسجيل والذي يتفق مع انتشار للموجات الأولية. وتتراوح سرعة للموجات الثانوية من ٣,٢ إلى ٧,٣ كم/ ثانية.

### ٣. الموجات الطويلة (L): Long Waves

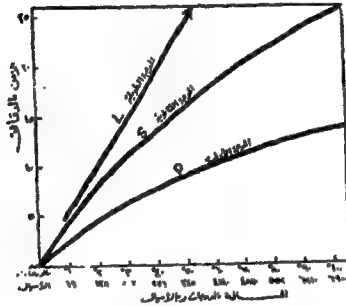
وهي موجات مستعرضة تجتاز الطبقات الصخرية العليا لقشرة الأرض وتنتشر أساساً من المركز السطحي للزلازل . وحيث أن قشرة الأرض غير متجانسة وقليلة الكثافة، فإن للموجات الزلزالية فيها تنكسر إلى أعلى وإلى أسفل ، وتسير في مجال متعرج Zigzag Path ومن ثم تصل إلى محطات التسجيل في وقت متأخر عن غيرها من الموجات الزلزالية الأخرى. وتتراوح سرعة الموجات الطويلة من ٤ إلى ٤,٤ كم/ ث (شكل ٧٨)

ولما كانت كل من الموجات الأولية والثانوية للزلازل تنتشر في الطبقات الصخرية السفلى لقشرة الأرض أو في باطن الأرض، فإن أسباب التدمير والتحطيم للمنشآت العمرانية بفعل الزلازل يعزى أساساً إلى انتشار الموجات الطويلة التي تنتشر من المركز السطحي للزلازل.



شكل (٧٨) تسجيل للموجات الزلزالية في مواقع مختلفة من سطح الأرض عند حدوث الزلازل - لاحظ للموجات المباشرة والموجات المنعكسة. كما أن للموجات الزلزالية العميقة تنكسر عن عمق ٢٠٠ كم من سطح الأرض.

وإذا وضعت الموجات الزلزالية المختلفة في قطاع بياني خاص يوضح سرعتها ومدى انتشارها وأشكال منحنياتها ، ليتبين بوضوح أن الموجات الأولية تنتشر لمسافات بعيدة في وقت أقل من الوقت اللازم للموجات الأخرى لكل تصل إلى نفس تلك المسافات . كما يتضح كذلك بأن الفرق الزمني بين سرعتي للموجات الأولية والموجات الثانوية يزداد تدريجياً كلما بعدت الموجات عن مركز الزلزال . (شكل ٧٩)

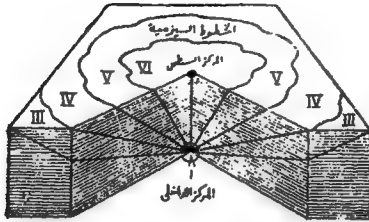


شكل (٧٩) قطاع يوضح منحنيات للموجات الزلزالية المختلفة وسرعة كل من هذه الموجات وطول المسافات التي تقطعها

**المركز الداخلي والمركز السطحي للزلزال وتحديد قوته :**

يطلق على المنطقة التي ينشأ فيها الزلزال في باطن الأرض اسم المركز الداخلي للزلزال Origin, Focus, or Hypocentre وليس من الضروري أن يمثل منشأ الزلزال وموقعه عند نقطة مسبوقة فقط، بل قد تكون منطقة من باطن الأرض تعرضت لحركات تكتونية عنيفة.

أما النقطة التي تقع عند سطح الأرض عمودية على المركز الداخلي للزلزال، وتنتشر منها موجات الزلزال فوق سطح الأرض فتعرف باسم المركز السطحي للزلزال Epicenter (شكل ٨٠)



شكل (٨٠) المركز الداخلي والمركز السطحي للزلزال.

ويشتد تأثير الزلزال عند هذه النقطة الأخيرة ويقل تأثيره كلما بعدت أجزاء سطح الأرض عن المركز السطحي للزلزال . ويمكن ربط أجزاء سطح الأرض التي تتساوى من حيث تأثيرها بالزلزال بخطوط متساوية تعرف باسم خطوط الزلزال المتساوية Iseismal Lines أو الخطوط السيزمية المتساوية . وعند رسم هذه الخطوط تبدو أهليلجية أو بيضاوية الشكل ويمثل مركزها جميعاً في المركز السطحي للزلزال . وعند تحديد مواقع المركز السطحي للزلزال ، واتضح مدى انتشار هذه الموجات الزلزالية يمكن تقدير عمق الزلزال أو بمعنى آخر المركز الباطني الذي نشأ عنه الزلزال.

ومن بين دراسة ٥٦٠٥ هزة زلزالية في إيطاليا تبين الآتى:

٩٠٪ منها تكونت في مراكز باطنية على عمق اقل من ٨ كم

٨٪ منها تكونت في مراكز باطنية على عمق يتراوح من ٨ إلى ٢٠ كم.

٢٪ منها تكونت في مراكز باطنية تقع على اصمق ابعد من ٢٠ كم

ومن ثم وضع علماء الزلازل Seismologists تقسيماً يصنف الزلازل إلى ثلاث مجموعات بحسب بعد المركز الداخلى للزلزال عن سطح الأرض ، وتتخلص نتائج هذا التقسيم فيما يلى:

زلازل عميقة Normal- مراكزها الداخلية من سطح الأرض إلى ٥٠ كم.

زلازل متوسطة Intermediate مراكزها الداخلية من ٥٠ إلى ٢٥٠ كم

زلازل عميقة Deep focus مراكزها الداخلية من ٢٥٠ إلى ٧٠٠ كم .

وقد اوضحت الدراسات السيزمولوجية بأن المراكز الداخلية التي تتمثل عندها زلازل هاواي التي تصاحب حدوث البراكين يتراوح عمقها من ميل واحد إلى ٣٠ ميل عن سطح . اما تلك التي تحدث أسفل مرتفعات الانديز (كثير منها زلازل مصاحبة للصنوع) يختلف عمقها من ٢٠ إلى ٤٠٠ ميل عن سطح الأرض. وحتى الآن سجلت الآلات السيزموجرافية بأن اشد عمق للزلازل بلغ ٤٣٥ ميل عن سطح الأرض. (شكل ٨١).



شكل (٨١) أعماق للمراكز الداخلية للزلازل تصح جزء هاواي ومرتفعات الانديز.

وتبعاً لتأثير الزلازل في تدمير مراكز العمران البشرى وتلك المُنظمة بالسكان صنف مارسيلي Mercalli قوة الزلازل إلى عشر درجات مختلفة ، ثم عدل الأستاذ هولمز<sup>(١)</sup> Holmes هذا التصنيف إلى اثنتا عشر درجة تتلخص بالجدول الآتي:

ويمكن تطبيق النطقات التي رجعها مارسيلي من دراسة الخطوط السيزمية لزلازل شاراستون في جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية. (شكل ٨٢)

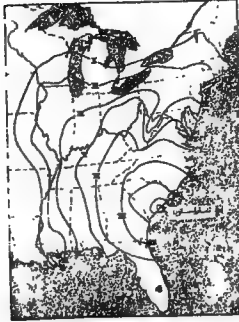
### التأثير الناتج عن حدوث الزلازل العنيفة

تتعرض أجزاء قشرة الأرض كثيراً لفعل الزلازل بحيث يمكن القول بأن المناطق الأكثر تعرضاً لها قد تحدث فيها الزلازل بمعدل زلزال واحد لكل بضع دقائق . ولكن أغلب هذه الزلازل لا يشعر بها الإنسان لأنها هزات أرضية خفيفة غير محسوسة ، ولا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية . ولا يشعر الإنسان بحقيقة بفعل الزلازل إلا إذا حدثت الأخيرة في مناطق مَُنظمة بالسكان والمنشآت العمرانية المختلفة . وينجم عن حدوث الزلازل العنيفة اشتعال الحرائق وتدمير المنشآت العمرانية ، و حدوث الانزلاقات الأرضية ، وتشقق أجزاء من سطح الأرض واختلاف مناسيبها مما كانت عليه من قبل ، ومن ثم يلقى بعد الناس مصرعهم بسبب حدوث مثل هذه الزلازل العنيفة<sup>(٢)</sup>.

ويتلخص التأثير الناتج عن حدوث الزلازل العنيفة فيما يلي :

- 
- (1) Holmes, A., (Principles of physical geology) , London (1959), p363.
  - (2) Don Leet, L., and Judson H., " Physical Geology" Prentice-Hall, (1965), P.201,

تأثيرها في مناطق العمران	مدى اهتزازها	درجة الزلازل
Instrumental لا يحس بها سوى أجهزة التسجيل.	بالغة الضعف	I
Very feeble لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العليا من المباني.	ضعيفة جداً	II
Slight يشعر بها الناس أثناء أوقات راحتهم في منازلهم.	خفيفة	III
Moderate يشعر بها العاملون ، وتهتز دوافذ وأبواب المنازل.	معتدلة	IV
Rather strong توقظ النائمون.	محسوسة أو قوية نسبياً	V
Strong تحدث تلفاً محدوداً في المنازل.	قوية	VI
Very strong تخلق جدران للمنازل.	قوية جداً	VII
Destructive تتساقط مبلن من المنازل وتهدم أجزاء المنازل القديمة.	مخربة	VIII
Ruinous تساقط بعض جدران المنازل وقد يلقى بعض الناس مصرعهم.	مدمرة	IX
Disastrous تساقط كثير من المنازل تعظم السدود انزلاق الأرض.	شديدة التدمير	X
Very disastrous تدمير عام للمنطقة ولا يتبقى منها سوى القليل من المنشآت تحدث شقوق واسعة في الأرض.	بالغة التدمير	XI
Catastrophic تدمير كل المنشآت العمرانية بالمنطقة وتطير أجزاء منها في الهواء سطح الأرض واختلاف مناسيب من جزء إلى آخر.	مفجعة وشاذة	XIII



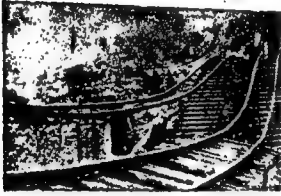
شكل (٨٢) نطاقات الخطوط السيزمية للتساوية لزلازال شارلستون في جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية

#### ١- اشتعال الحرائق : Fire

عند حدوث الزلازل في مناطق العمران البشرى فإن التخريب والتدمير الناتجين عن اشتعال الحرائق أشد بكثير من تأثير الهزات الأرضية نفسها . وقدّر بعض الباحثين بأن ٩٥٪ من التدمير الذى تسببه بعض الزلازل، يرجع أساساً إلى اشتعال الحرائق فى المنازل والمنشآت العامة.

ومن أشهر الزلازل التى سببت حرائق هائلة زلزال خليج ساجامى Sagame Bay الذى حدث فى أول سبتمبر عام ١٩٢٣ . فبعد نحو ٣٠ دقيقة من حدوث الزلزال الذى يقع على بعد ٧٠ ميلاً من طوكيو، اشتعلت النيران فى المدينة الأخيرة فى أكثر من ١٣٦ موقعاً. ومما ساعد على زيادة اشتعال الحرائق، تدهم للمعامل الكيماوية وخزانات البترول، واشتعال اقتران الطهى والمواقد فى المنازل وتساقط المدخن المشتعلة فوق أسطح المنازل، وتحرك أسنة اللهب بفعل الرياح المتغيرة الاتجاه. وخلال ١٨ ساعة فقط بعد حدوث الزلازل تم إحتراق أكثر من نصف منازل مدينة طوكيو.

لما مدينة يوكوهاما التي تبعد عن مركز الزلزال بنحو ٥٠ ميلاً فقد تعرضت هي الأخرى للحرائق بصورة أشد من تلك في طوكيو. وبعد ١٢ ساعة فقط من حدوث الزلزال تم إحتراق أكثر من ٦٥٪ من جملة المنشآت العمرانية في المدينة . وأمر عدد الذين لقوا مصرعهم بسبب هذا الزلزال العنيف نحو ٢٥٠,٠٠٠ نسمة. وقد نتج عن زلزال سان فرانسيسكو في عام ١٩٠٦ خراب وتدمير عتيلين بفعل الحرائق أشد خطراً بكثير من تأثير الهزات الزلزالية نفسها على المباني.



شكل (٨٣) تدمير خطوط السكك الحديدية ونيتها خلال حدوث زلزال طوكيو في عام ١٩٢٣

## ٢ - تدمير المنشآت العمرانية :

تصل الزلازل العنيفة على تدمير جدران المنازل وتساقط مناخنها وانتشار الخراب والدمار في المناطق القديمة من المدن . وقد ينتج عن تصعق لشجرة الأرض ثنى خطوط السكك الحديدية وتدمير القناطر والجسور كما حدث بالنسبة لزلزال طوكيو في عام ١٩٢٣ ( شكل ٨٣ ) .

وقد تقاوم الأبنية الحديدية الحديثة الهزات الأرضية العنيفة وتحافظ بتساوئها على سطح الأرض. فلقد استطاع المهني الحديدي لذلك ميتسوبيشي Mitsubishi أن يقاوم تأثير الهزات الأرضية لزلزال طوكيو في عام ١٩٢٣ في حين تحولت جميع الأبنية التي تصيطن به إلى أنقاض وأتربة. ونجح برج لاتينو-أمريكانو Latino-Americano في مدينة المكسيك مقاومة الهزات الزلزالية العنيفة التي تعرضت لها مدينة المكسيك في ٢٨ يوليو عام ١٩٧٥ في حين دمرت تماماً جميع المنازل والمباني التي تقع حول هذا البرج.

### ٣ - الموجات الزلزالية : Seismic Sea Waves

عندما تحدث الزلازل في قاع المحيط قد ينجم عن ذلك حدوث اضطرابات عنيفة في مياه المحيط، وتتخذ شكل أمواج عالية تعرف في اليابان باسم أمواج التسنامي Tsunami ولول علامة لبدء حدوث هذه الموجات البحرية هو انسحاب المياه بشدة من الشاطئ نحو البحر، ثم بعد بضع دقائق تترد الأمواج ثانية إلى خط الساحل بقوة وعنف على شكل موجات بحرية عالية جداً، وينجم عنها تدمير المنشآت العمرانية على خط الساحل وانفجار المياه إلى الياقوت وتجمعها أحياناً على شكل بحيرات ساحلية.

ومن بين أشهر أمثلة أمواج التسنامي تلك التي تحدث على سواحل جزر اليابان وجزر هاواي، ويبلغ عند أمواج التسنامي التي تعرضت لها جزيرة هاواي منذ اكتشافها في عام ١٨٧٨ حتى الوقت الحاضر نحو ثلاثين موجة بحرية زلزالية كبيرة. وفي أول إبريل عام ١٩٤٦ حدث زلزال عنيف في جزيرة انيماك Unimak بخالق ألوشيان حيث يبلغ عمق البحر نحو ١٢,٠٠٠ قدم. وبعد مضي ٤ ساعات و ٣٤ دقيقة وصلت مقدمات أمواج التسنامي إلى جزر هاواي، وذلك بعد أن عبرت الموجات الزلزالية نحو ٢٢٤٠ ميل، أي بسرعة ٤٩٠ ميل في الساعة وقد تراوح ارتفاع للموجات البحرية التي اصطدمت بسواحل جزر هاواي من ٣٥ إلى ٤٥ قدم.

وقد حدث زلزال محيطي أمام الساحل الجنوبي الغربي لأمريكا الجنوبية في ٢٢ مايو ١٩٦٠، وقد استطاعت مراكز التسجيل الزلزالية تنبيه جزر المحيط الهادئ بقُدوم موجات التسنامي، ومع ذلك فقد وصلت هذه الموجات العالية إلى جزر هاواي بعد ١٥ ساعة من حدوث الزلزال وأدت (بالرغم من الاحتياطات وطرق الوقاية المحكّمة) إلى مصرع ٦١ نسمة وجرح ٢٨٢ نسمة وتدمير منشآت عمرانية قدرت بنحو ٢٠ مليون دولار. وبعد مضي ٨ ساعات أخرى وصلت موجات التسنامي إلى سواحل هنشو في اليابان (أي بعد أن عبرت الموجات البحرية مسافة ١٠,٦٠٠ ميل في ٢٢

ساعة تقريباً) وأنت إلى تدمير أكثر من ٢٥٠,٠٠٠ منزل ولقى أكثر من ١٨٠ ألف نسمة مصرعهم، وقدرت قيمة الخسائر المادية بأكثر من بلون دولار.

ونج عن حدوث زلزال لشبونة في عام ١٧٧٥ تكوين موجات بحرية زلزالية عالية، اندفعت من البحر على أجزاء المدينة وهدمت الكثير من التفتحات العمرانية فيها. بل استقطعت الحياة تكوين بحيرات ساحلية قرب مدينة لشبونة من بينها بحيرة لوموند Loch Lomond وبيحيرة نيس Loch Ness

#### ٤. الانزلاقات الأرضية (الزلازلية): Earthquake Landslides

عندما تتعرض المناطق الجبلية الشديدة التخرس ذات الحافات الصخرية العالية والتي تكثر فيها التكوينات الرملية والطينية أو المناطق التلالية الطينية للزلازل العنيفة، كثيراً ما تحدث فيها الانزلاقات الأرضية. ولا تزيد نصف قطر المنطقة المعرضة لمثل هذه الانزلاقات عن ٣٠ ميل . ومن أشد الانزلاقات الأرضية التي نتجت بفعل الزلازل تلك التي حدثت في مدينة بورت رويال Port Royal في جامايكا نتيجة لزلزال يونيو في عام ١٩٦٢. وقد دمرت الانزلاقات الأرضية المدينة بأكملها ، واكتسحت الألسنة الطينية والأتربة جميع مباني المدينة بل انزلق أكثر من ٦٠ ٪ من المدينة إلى البحر المجاور ، ولقى أكثر من ٢٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم بسبب الانزلاقات الأرضية.

وعندما تتعرض المناطق التلالية الطينية والمغطاة بترية اللويس في الصين لحدوث الزلازل ينجم عن ذلك تكوين الانزلاقات الأرضية التي تكتسح كل ما يقع أمامها من منشآت عمرانية. فقد نتج عن زلزال كانسو في ١٦ ديسمبر عام ١٩٢٠ حدوث انزلاقات أرضية عنيفة في مناطق تربة اللويس، ولقى أكثر من ٢٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم تحت الأتربة والألسنة الطينية. وتعرضت منطقة كانسو الصينية من جديد لحدوث

الزلازل في عام ١٩٢٧ ، وفي هذه المرة لقي نحو ١٠٠.٠٠٠ نسمة مصرعهم بسبب حدوث الانزلاقات الأرضية . ومن بين الزلازل التي أدت إلى تكوين انزلاقات أرضية عنيفة زلزال إنكوداج في السكا الذي حدث في ٢٨ مارس عام ١٩٦٤ . وزلزال هبجن Hepgen في ولاية مونتانا في ١٧ أغسطس سنة ١٩٥٩ .

#### ٥ - تشقق سطح الأرض : Cracks in the ground :

من المظاهر الخطرة عند حدوث الزلازل تشقق سطح الأرض وابتلاع فتحاتها لكل شيء يمكن أن يسقط عبر فتحات الشقوق. ونجم عن زلزال طوكيو في عام ١٩٢٣ تشقق أسطح الطرقات وتدمير لجزء واسعة من سطح المدينة ( شكل ٨٤ ) كما أدى زلزال كاليفورنيا في عام ١٩٠٦ إلى تشقق لجزء واسعة من سطح الأرض



شكل (٨٤) تشقق سطح الأرض بعد زلزال طوكيو في عام ١٩٢٣

ولكن قد يفالي بعض الكتاب في تحديد قدرة الأرض على أن تتشقق بفعل الزلازل وتتسع فتحاتها وتبتلع قري بأكملها بمن فيها وعليها ، ثم تلتحم شقوق الأرض من جديد، ويعود مظهر سطح الأرض كما كان عليه الحال قبل حدوث الزلازل.

وكتب بعض المغالين عن زلزال لشبونة في أول نوفمبر سنة ١٧٥٥ بأن الأرض انشقت وابتلعت فتحاتها قارية بكامل سكانها الذين كان عددهم نحو ١٠,٠٠٠ نسمة ، وبعد مرور بضع دقائق انقلبت فتحات الشقوق مرة أخرى وعاد سطح الأرض من جديد إلى حالته الأولى قبل حدوث الزلزال وكان شيئاً لم يكن <sup>(١)</sup>.

#### ٦ - تغير مناسيب سطح الأرض : Changes in land level

قد يصاحب بعض الزلازل العنيفة تغير مناسيب أجزاء واسعة من أراضي المنطقة التي أصيبت به وذلك بمناسيب مربوط بعض الأراضي ، وارتفاع بعضها الآخر . فنتيجة لزلزال عام ١٨٨١ في كل من ولايتي ميسوري وتنسي هبطت أجزاء من الأرض بلغت مساحتها أكثر من عدة آلاف من الأميال المربعة ، بل كان مربوط بعضها شديداً بحيث تكونت بحيرات هابطة متوسطة مساحة كل منها نحو ٢٠ ميلاً مربع . ومن الزلازل للشهورة التي نتج عنها تغيير مناسيب سطح الأرض زلزال خليج ياكوتات Yakutat في السكا الذي حدث في عام ١٨٨٩ ، وزلزال شيلي الذي حدث في عام ١٩٦٠ ، وزلزال خليج ساكامي في عام ١٩٢٢ .

#### التوزيع الجغرافي للزلازل

تحدث الزلازل في مناطق متناثرة من أجزاء العالم ، ولكن هناك مناطق محددة تحدث فيها الزلازل بنسبة أكبر من غيرها في المناطق الأخرى . ومثل هذه المناطق المعرضة دائماً لحدوث الزلازل تعرف باسم أحزمة أو نطاقات الزلازل Earthquake Belts . ومن دراسة التوزيع الجغرافي للمراكز الباطنية للزلازل في العصر الحديث يمكن أن نخلص الملاحظات الآتية :

- ١- أشد نطاقات الزلازل حدوثاً هو ذلك النطاق الحلقي حول المحيط الهادئ Circum Pacific Belts والمعروف بحلقة النار ، ويتمثل فيه نحو ٧٨ ٪ من مجموع الزلازل . وعلى الرغم من أن هذا النطاق هو أهم مناطق حدوث البراكين في العالم ، غير أنه من الخطأ اعتبار حدوث الزلازل نتيجة تلقائية لحدوث البراكين ، بل أن كلا من البراكين والزلازل تحدث في هذا

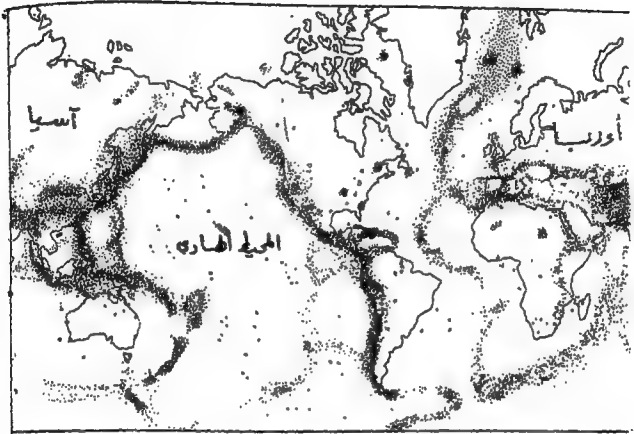
(1) Done Leet, L. and Judson, S., " physical Geology ". Prentice-Hall, (1965)p.298.

النطاق لكونه ضعيفاً جيولوجياً ،فهو عبارة عن مناطق إلتقاء صفخور السيلال بصخور السيماء من ناحية وأنه من أهم مناطق الإلتواءات الألبية الميوسينية الحديثة من ناحية أخرى. ومن ثم فإن صفخور هذا النطاق غير مستقرة، ومعرضة دائماً لتأثير الحركات التكتونية.

ب- يخضع نطاق البحر المتوسط نحو ٢١٪ من مجموع الزلازل. ويرتبط حدوث الزلازل في هذا النطاق مع المناطق الإلتوائية الألبية في أوروبا غير المستقرة جيولوجياً. وقد أوضحت نتائج دراسات الزلازل بأن أخطر الزلازل وأشدها عنفاً وتدميراً هي تلك التي تحدث في كل من الفلبين وإيطاليا والصين وتركيا واليابان والمكسيك ويشبه جزيرة البلقان على الترتيب.

هذا وتحدث الزلازل في أرضية المحيطات وخاصة عند الحواجز المحيطية الكبرى ، كما قد تحدث الزلازل في مناطق شبه مستقرة من الكتل الأركية الصلبة مثل زلزال نيوفاوند لاند في عام ١٩٢٩ وفي الأخاديد الصدعية العميقة كما هو الحال في الأخدود الأفريقي العظيم ( شكل ٨٤ ب )

وفي السنوات الأخيرة تعرضت أجزاء متفرقة من المناطق الصدعية في الأخدود الأفريقي العظيم لإعادة التوازن وحدثت الصدوع العميقة على أسطحها القديمة وتسببت في حدوث الزلازل والتي امتد أثرها إلى المناطق السكنية المجاورة لهذا الأخدود كما حدث في القاهرة وشبه جزيرة سيناء ومناطق من الأردن ولبنان . ومن أحدث هذه الزلازل ذلك الذي ضرب كل من سوريا ولبنان والأردن والسعودية ومصر في يوم ٢٢/١١/١٩٩٥ على طول مناطق متفرقة من الصدوع العميقة في الأخدود الأفريقي العظيم . وكانت قوة هذا الزلزال تتراوح من ٦ إلى ٧,٢ درجة بمقياس ريختر وتمركز في منطقة نوبيع على رأس خليج العقبة. ونجم عن حدوث هذا الزلزال تصدع المباني وتساقط المنشآت العمرانية وتشقق سطح الأرض في مناطق حدوثه. ومن ثم يتضح بأن الزلازل غير الهراكين حيث أنها قد



( شكل ٨١ ب ) التوزيع الجغرافي للزلازل في العالم .

تحدث في كل من المناطق غير المستقرة تكتونياً (مثل البراكين) وكذلك في المناطق المستقرة تكتونياً والمثارة بالأخاديد الصدعية الكبرى، مثل مناطق الأخدود الأفريقي العظيم الذي تمتد أبعاده في الكتلة الأفريقية وفي كتلة الشرق العربي. وتثير مثل هذه الزلازل القلق بين العلماء، حيث أن مناطق حدوثها تميزت لفترة طويلة بالاستقرار التكتوني، وإن إعادة حدوث الزلازل فيها قد يدل على تحرك شبه الجزيرة العربية وازاحتها شمالاً، وتحرك الجوانب الصدعية لأخدود البحر الأحمر.

ويختلف عدد الزلازل التي تحدث في قشرة الأرض من عام إلى آخر. كما قد تتعرض أجزاء من قشرة الأرض لزلازل عنيفة جداً في عام ما ثم إلى زلازل ضعيفة جداً في عام آخر. وقد أوضح جوتنبرج Gutenberg من دراسته لعدد مرات حدوث الزلازل في قشرة الأرض فيما بين عام ١٩٠٤ وعام ١٩٤٦، بأن المتوسط السنوي لعدد الزلازل التي تتعرض لها قشرة الأرض قد يبلغ نحو ١٥٠,٠٠٠ زلزال. ولكد جوتنبرج كذلك بأن قشرة الأرض قد تتعرض في بعض السنوات لحدوث أكثر من نصف مليون زلزال، إلا أن القسم الأكبر منها عبارة عن زلازل غير محسوسة ولا تسجلها إلا أجهزة الرصد السيزموجرافية الحساسة جداً (١). ومع ذلك فلا يزيد المتوسط السنوي لعدد الزلازل العنيفة جداً عن زلزالين، ويبلغ عدد الزلازل القوية نحو ١٢ زلزالاً سنوياً، وتتلخص دراسات جوتنبرج عن عدد الزلازل والمتوسط السنوي لحدوثها في قشرة الأرض فيما بين عام ١٩٠٤ إلى ١٩٤٥ في الجدول الآتي :

قوة الزلازل	قوة الزلازل	المتوسط السنوي لعدد
عنيفة جداً	٧,٧ — ٨,٦	٢ ملحوظة جداً
قوية	٧,٠ — ٧,٧	١٢ من محسوسة إلى ضعيفة
متوسطة إلى	٦,٠ — ٧,٠	من ضعيفة إلى ضعيفة جداً { ١٠٨
ضعيفة .	٥,٠ — ٦,٠	٨٠٠
ضعيفة جداً	٤,٠ — ٥,٠	من ضعيفة إلى ضعيفة جداً { ٦٧٠٠
	٣,٠ — ٤,٠	ولا تسجلها إلا أجهزة
	٢,٥ — ٣,٠	الرصد للزلازلى [ ٤٩٥٠٠
		١٠٠,٠٠٠

## ثانياً . البراكين

عندما تنبثق الماجما من باطن الأرض قد تظهر على سطح الأرض على شكل مخروطات هرمية الشكل من المصهورات البركانية تعرف باسم البراكين(١) Volcanoes . وقد تظهر على شكل انسيابات وفراشات لالوية وتكون الهضاب البركانية Volcanic Plateaux . ويمرئ أسباب تكوين المخروطات البركانية الهرمية الشكل إلى خصائص التركيب الكيميائي للماجما والمصهورات البركانية عبر فتحة كبرى رئيسية تعرف باسم قنطرة البركان Volcanic Neck وتصل قنطرة البركان بين مصدر الماجما في باطن الأرض وأعلى المخروط البركاني على سطح الأرض ، وتتغذى المصهورات البركانية طريقها إلى الأرض عبر القنطرة الرئيسية للبركان. وعندما تصل المصهورات البركانية إلى سطح الأرض تتجمع وتساهم في بناء المخروط البركاني Volcanic Neck . ويختلف شكل المخروط البركاني تبعاً لخصائص التركيب الكيميائي لمواد اللافا ، ففي حين يختلف حجمه تبعاً لكمية المواد المنبثقة من البركان . ويطلق على الأطراف العليا للقنطرة البركانية وفتحتها التي تخرج منها المصهورات البركانية

---

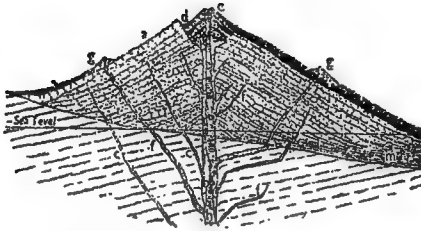
(١) يدل مصطلح بركان على فتحة في قشرة الأرض تنبثق منها اللافا أو للمagma (في الصخور المنصهرة molten rocks ) والغازات من باطن الأرض إلى سطحها ، ويعود أصل هذا المصطلح إلى اسم فالكان Volcan إلى النار عند الرومان القدماء ، وصميت بهذا الاسم جزيرة البركان الواقعة بجوار الساحل الشمالي الشرقي لجزيرة صقلية . ويستخدم هذا المصطلح اليوم عند الدلالة على المخروط البركاني إلى يكون من تجمع المواد اللافاية المنبثقة من الفتحة الرئيسية للبركان واشتق من هذا المصطلح عدة مصطلحات ثانوية منها : بركاني « Volcanic ، والفتحة البركانية أو الفلج البركاني Volcanic ، وعلم البراكين Volcanology ، والمعلم المتخصص في دراسة البراكين Volcanologist .  
واقدم إشارة لهذا المصطلح في فترات الجغرافيا الإسلامية نجدها عند السمعوني في كتابه مدراج الذهب (٢٣٦هـ) . وقد أطلق على البراكين تصبيراً لطام النهران: ومفردهما : أطماء (د. عبد الله الفقيه ١٩٨٨ - ص ٥ - ١١) . ويذكر السمعوني كذلك في كتابه : القتيب والإشراف ، بأنه كان هناك جبلاً في صقلية يعرف باسم جبل البركان وتخرج منه عين النار التي كانت تعرف باسم : أطماء صقلية ، . ونجد في التراث الجغرافي الإسلامي دراسة وصليبة زائدة للبراكين والأطلام في الجزر الأروبية الواقعة في البحر الأبيض شمال شرق جزيرة صقلية في كتابات البكري والإمريسي والزمري . ويوضح من نص الصموني الذي عاين في القرن التاسع الهجري إن : البركان ، هو اسم الأكمة التي يخرج منها النار كالتي بجزيرة صقلية.

اسم الفوهة البركانية Volcanic Crater . ويختلف حجم واتساع الفوهة البركانية من فوهات صغيرة لا يزيد نصف قطر كل منها عن عدة أمتار، في حين أن هناك فوهات بركانية هائلة الحجم يزيد نصف قطرها عن عشرات الأمتار ولها جدران عاتلية حائطية عالية ، وفي هذه الحالة تعرف باسم الكالديرا Caldera . وليس من الضروري أن يكون للبركان فوهة واحدة ، بل قد يتمثل على جوانب المخروط البركاني عدة فوهات ثانوية تستمد الألفا من شقوق وفوهات ثانوية تتصل بالقصبة الرئيسية للبركان (شكل ٨٢).

وحيث تعمل للمصهورات البركانية على بناء المخروط البركاني نفسه فإنه كلما كانت هذه المصهورات هائلة الحجم ورائمة التدفق، يرتفع المخروط ويزداد حجمه، أما إذا انخفضت للمصهورات البركانية وتعرض البركان لفقوة من الهدوء النسبي، فيتعرض بدوره لفعل عوامل التعرية التي تعمل على تشكيل المخروط البركاني وتحت الأجزاء الضعيفة منه.

والبراكين النشيطة الدائمة الثوران Active قليلة جداً على سطح الأرض ومن بينها بركان سترمبولي Stromboli بجزر ليباري قرب جزيرة صقلية والمعروف بمنارة حوض البحر المتوسط . وتنبثق المصهورات البركانية والسنة الذهب من فوهة البركان مرة كل دقيقتين.

وأغلب البراكين فوق سطح الأرض من النوع المتقطع الثوران أو هادئة نسبياً Dormant حيث ينحمد النشاط البركاني خلال فترة من الزمن ، ثم يتجدد من جديد خلال فترة أخرى . ومن بينها بركان أتنا بجزيرة صقلية . وهناك مجموعة ثالثة من البراكين تعتبر خامنة Extinct ، أي انخمد النشاط البركاني فيها تماماً منذ فترة زمنية طويلة وأصبحت تتشكل بعوامل التعرية التي أخذت على عاتقها نحت جوانب المخروط البركاني والذي لا يتبقى منه في النهاية سوى القصبة البركانية الشديدة الصلابة . ومن بين أمثلة الهياكل البركانية شيبروك Shiprock في المكسيك وديفلزتور (برج الشيطان) Devil's Tower في ولاية وايومنغ بالولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (٨٥) قطاع لأجزاء مخروط بركاني مركب ولاحظ ما يلي :

- A - المخروط الرئيسي للبركان
- B - انسيابات الالفا داخل القبة الرئيسية.
- C - المروق الثانوية.
- D - فوهة جديدة داخل الفوهة القديمة.
- E - مخروط الفوهة البركانية الجديدة.
- F - مروق ثائرة أحدث عمراً.
- G - مخروقات جدينية صغيرة تستمد الالفا من عيون جانبية
- H - رواسب بحرية قديمة .

إلا أن تصنيف البراكين إلى مجموعات نشيطة وهادئة وخامدة لا يعد تقسيماً عاماً دقيقاً، ذلك لأن بعضاً من البراكين الهادئة أو الخامدة قد تتعرض لثورانات بركانية جديدة تجدد من نوراتها ونشاطها، وتنبتق منها بذلك مصهورات بركانية هائلة، وتدخل من جديد ضمن مجموعة البراكين النشيطة. وقد اعتبر سكان مدينتي بومبي Pompeii و هاركلا نيوم Hercul-

meum فى نابلى بإيطاليا أن بركان سوما Monte Somma كان بركاناً -امداً حتى عام ٧٩ ميلادياً لانخمد نشاطه البركانى لمدة بلغت أكثر من ٧٠٠ سنة . ولكن فى عام ٨٠ ميلادياً تجدد نشاط البركان وانبثقت منه الحمم والمصهورات البركانية معلنة تجديد حياته وميلاد بركان نشيط فى قلب البركان القديم وسمى هذا البركان الجديد باسم بركان فيزوف Vesuvius

### المواد التى تنبثق من البراكين

تنبثق من البراكين مواد مختلفة، بعضها يتألف من اجسام صلبة وأخرى من مواد سائلة وبعضها الآخر غازات ، وتتخلص نوعية تلك المواد وخواصها العامة فيما يلى:

١- المواد الصلبة : وتتألف من الآتى :

#### المقذوفات البركانية الحطامية Pyroclasts

عندما تنبثق المصهورات اللافاية عبر قبة البركان تعمل على تعطيم صخر قشرة الأرض فى منطقة فوهة البركان وتطاير بذلك المفتتات الصخرية المحطمة - بعد تشكيلها بالمواد اللافاية - إلى أعلى وتتساقط على مسافات مختلفة من منطقة الفوهة تبعاً لاختلاف حجمها وقوة الدفع التى تعرضت لها، ويطلق على هذه المواد الصخرية المفتتة والتى انفصلت بمواد اللافا اسم المقذوفات الحطامية البركانية Pyroclasts وتتألف المقذوفات الحطامية من المجموعات الآتية:

١- مقذوفات حطامية بركانية خشنة الحبيبات :

ومن بينها القنابل البركانية Bombs وكتل السكوريا Scorea (هى كتل اللافا المخزعة ذات الفقائيع الغازية) وصخر الخفاف Pumice ، ومجموعات صخرية حطامية من الصخور الأصلية للمنطقة قبل ظهور فوهة البركان . (أو بعد أن يهدأ البركان وتتخمد اللافا فى الفوهة وعند ثورات من جديد تتطاير القطع الصخرية المفتتة من اللافا القديمة المتماسكة). وتتجمع المفتتات الصخرية بعد اختلاطها بمواد اللافا على شكل كتل تراكمية

تعرف باسم البريشيا البركانية Agglomerate or volcanic breccia

وتتألف القنابل البركانية أساساً من مواد اللافيا عند تجمدها بالقرب من سطح الأرض ، وعندما تنبثق من فوهة البركان تتطاير في الجو وتدور حول نفسها بشدة ومن ثم تكتسب الشكل البيضاوي أو الأملنجي . أما إذا كانت مواد القنابل البركانية غير مرنة ، فإنه عند دورانها حول نفسها بشدة أثناء تطايرها في الجو تتشقق أسطحها وتصبح على شكل رغيف الخبز الأحمر ، ويطلق عليها عندئذ تعبير Bread-Crust bomb

أما طح عصف الحفاف فتتميز بأنها عالية المسامية نتيجة لانهساس كميات كبيرة من الغازات في مواد اللافيا ومن ثم فإن هذا الصخر منخفض الوزن جداً ولليل الكثافة ويطفو على سطح الماء

#### ب - مقذوفات حطامية بركانية دقيقة الحبيبات

يتطاير من فوهة البركان أحياناً مقذوفات حطامية بركانية على شكل طح صغيرة الحجم جداً ، ويظهر الكثير منها في حجم حبة البازلاء وتعرف هذه المقذوفات الدقيقة الحجم باسم الحمرات أو الحصى البركاني Lapilli . وتبعاً لدرجة حجم هذه الحبيبات الصحيرية فإنها تتطاير إلى أعلى لوضع مئات من الأستار فوق فوهة البركان ومن ثم تنساقط كذلك بعيدة من فوهة البركان بمسافات كبيرة جداً

#### ج - الرماد البركاني : Volcanic Ashes

عبارة عن مواد معدنية دقيقة أو مجهرية الحبيبات تخرج من فوهة البركان وتطاير إلى أعلى لمسافات عالية متدفقة مع الغازات وتبعاً لدرجة وزن الرماد البركاني فإنه يظل معلقاً في الجو لمدة طويلة بل وينقل مع الرياح لمسافات بعيدة جداً وعلى سبيل المثال استطاع رماد بركان كراكاتاو Krakatau أن يرتفع في الجو لمسافات عالية وأن يدور حول الكرة الأرضية دوره كاملة قبل أن يتعرض للتساقط . كما شوهد سقوط الرماد البركاني المنبعث من بركان فيزوف بعد إحدى ثوراته فوق مدينة استنبول .

## ٢- المواد المنصهرة السائلة: اللافا<sup>(١)</sup> Lavas

اللافا Lavas أو الحمم أو الطفوح البركانية هي عبارة عن المصهورات البركانية التي تنبثق من فوهات البراكين أو من الشقوق في سطح الأرض وتنساب فوق هذا السطح مكونة المخروطات والهضاب البركانية. إما إذا انجمت هذه المصهورات البركانية داخل قشرة الأرض ولم تتعرض للبرودة السريعة فوق السطح فتتصرف في هذه الحالة باسم الماجما (Magma) (٢).

وتختلف درجة حرارة اللافا عند سطح الأرض تبعاً لخصائص تركيبها الكيميائي ونسبة الغازات الممتلئة فيها، وتؤثر هذه العوامل الأخيرة كذلك في مظهر اللافا ودرجة سيولتها وانسيابها.

وتتراوح درجة حرارة اللافا من ٦٠٠م إلى ١٢٠٠م ويمكن القول بأن اللافا البازلتية القاعدية دائماً أعلى حرارة من الأنواع الأخرى من اللافا عند سطح الأرض. وتتميز اللافا القاعدية Basic Lava كذلك بأنها عالية المرونة وتكثر فيها الغازات ومن ثم تصبح أكثر سيولة وتنساب من أعالي المخروط البركاني وتنحدر على جوانبه وتحت أقدامه لمسافات طويلة قبل أن تتعرض لعمليات البرودة والتجمد. أما اللافا الحمضية Acid Lava أي الفتية بالسليكات فتتميز بأنها شديدة اللزوجة وثقيلة الوزن وعالية التماسك. ومن ثم تكون هذا اللافا قليلة السيولة وبطئية الانسياب وتتراكم حول الفوهات والشقوق البركانية التي تنبثق منها ولا تبتعد عنها وقرشاتها كثيراً عن هذه الفوهات.

---

(١) يطلق بعض الكتاب على هذا التعبير اسم «اللابا» ولكن حيث استخدم تعبير «اللافا» في الدراسات الجغرافية والجورولوجية وأصبح استخدامه شائعاً لذا سيظل استخدامه في دراستنا هذه.

(٢) استخدم الكتاب العرب في التراث الجغرافي الإسلامي تعبير «الحر» وجمعها حرار أو حرار مرادفاً لتصبير اللابة ( وجمعها اللابات ) وتدل الحر أو اللابة على الحقول الغسبية من سطح الأرض للفظ: بالعصور البازلتية السريعة اللون النافضة عن تصبب السهبر للنبت في فوهات البراكين - راجع هينكله الفهم ( ١٩٨٨ ) ص ٧٢ .

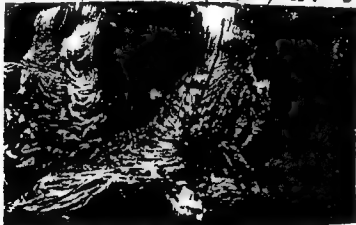
وتتراوح سرعة انسياب اللافا أثناء خروجها من فوهة البركان من ٦٠ إلى ٣٠٠ ميلاً في الساعة، ولكن لا تزيد سرعتها في معظم الأحيان عن ميل واحد في الساعة . ويختلف شكل سطح اللافا عن سطح المياه ، حيث يتشكل بظواهر مختلفة تبعاً لتركيب اللافا الكيميائي وعمليات البرودة التي تتعرض لها . ويمكن أن نميز الأسطح التالية:

أ - أسطح اللافا التي تبدو على شكل كتل : Block Lava

وتعرف في هاواي باسم « آه آه » Aa or Ah Ah ، ويظهر هذا النمط في اللافا شبه المتجمدة والتي تتسرب منها الغازات فجأة، فبعد استخدام اللافا فوق سطح الأرض تنفصل لفرشاتها بعضها عن البعض الآخر، وكل منها يبدو على شكل كتل لافية مندمجة ومختلط فيها بعض المقذوفات الحطامية البركانية.

ب - أسطح اللافا الخيطية أو الجبيلة : Roby Lava

وتعرف في هاواي باسم « با هو هو » Pa hoe hoe ، ويتكون هذا الشكل من أسطح اللافا عندما تتميز الأخيرة بارتفاع درجة حرارتها وعند تسرب الغازات منها ببطء وفي هدوء . ومن ثم تتجمد أسطح اللافا وتتشكل بحدود عميقة ويصبح سطحها كأنه يتركب من عديد الخيوط والحبال المتجاورة . (شكل ٨٦)



شكل ( ٨٦ ) أسطح اللافا الحبلية أو الخيطية الشكل .

وإذا تكونت اللافا الخيطية فوق أرضية البحار والمحيطات فتساعد مياه البحر والضغط الواقع فوق اللافا على سرعة تجمدها وجمع حبالها وخبوطها وكبسها واندماج بعضها ببعض الآخر ، ويؤدي ذلك في النهاية إلى تمييز سطح اللافا بشكل خاص يطلق عليه تعبهر اللافا الوسادية Pillow lava . وقد تظهر هذه الأسطح اللافية على سطح الأرض إذا تعرضت أرضية البحار لحركات الرفع التكتونية كما حدث بالنسبة لمنطقة تايفاليش Tayvallich في أرجيل شير Argyllshire في ويلز.

وقد تظهر اللافا في بعض الأحيان على شكل فرشاة بازلتية هائلة السمك فوق سطح الأرض، وعندما تتعرض لعمليات التجمد والتماسك تتكون فيها كثير من الشقوق الرأسية والعرضية وتكتسب اللافا نتيجة لذلك الشكل العمداني Columnar Structure

### ٣. الغازات البركانية:

ينبثق مع المصهورات البركانية الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بنحو ٥ ٪ من جملة حجم المصهورات البركانية . كما تتراوح نسبة بخار الماء من ٦٠ إلى ٩٠ ٪ من جملة الغازات التي تنبثق من الفوهات البركانية. وتمثل النسبة الباقية الأخرى مجموعة من الغازات أهمها ثاني أكسيد الكريون والتتروجين وغازات أمماض الأيدروكلوريك والكبريتيك والنفثادر . وتتراوح درجة حرارة تلك الغازات أثناء انبثاقها من فوهات البراكين من ١٠٠ إلى ٥٠٠ م° . ولا يقتصر خروج الغازات من فوهات البراكين أثناء حدوث الثورات البركانية فقط ، بل قد ينبعث من البراكين الساكنة كميات هائلة من الأبخرة والغازات دون أن يصاحبها انبثاق للمصهورات اللافية.

وتتרכب الغازات البركانية أساساً من بخار الماء، وبعض الغازات الأخرى مثل ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكريون والأكاسيد الأحادية Monoxide (تحتوى على ذرة واحدة من الأكسجين في الجزيير) والأكاسيد الثلاثية Trioxide والهيدروجين وحمض الهيدروكلوريك

وحمض الهيدروفلوريك والتتروجين والأرجون. واكث نتائج التحاليل العملية لصخر الجرانيت المنصهر عند درجة حرارة ٩٠٠ م وتحت ضغط عال جداً أن هذا المنصهر يشتمل على ٦٪ من وزنه ماء. في حين أن المagma البازلتية المنصهرة تحتوي على نحو ٤٪ من وزنها ماء، وتبلغ نسبة المواد الطيارة في المagma نحو ١٪ من جملة وزنها. ويلاحظ أن بعض الغازات البركانية يرجع مصدرها الأصلي إلى الباطن العميق لجوف الأرض في حين أن بعضها الآخر مثل الغازات الكبريتية تكونت في مواد المagma بالقرب من سطح الأرض (١).

وتقاس درجة حرارة المagma للمنصهرة بواسطة أجهزة خاصة منها الأجهزة المزودة الحرارية Thermocouples وأجهزة البيرومتر البصرية Optical pyrometers. وتتراوح درجة حرارة المagma عند انبثاقها من فوهات براكين هاواي من ١١٠٠ م إلى ١٢٠٠ م وتبرد الألفا البازلتية هنا عند درجة حرارة ٩٨٠ م. في حين كانت درجة حرارة المagma عند فوهة بركان أوشيما في اليابان (إثناء فترة ثورانه في عام ١٩٥١) تتراوح من ١٠٤٠ م إلى ١٠٩٥ م. هذا وتقاس درجة لزوجة المagma للقاعدية أو درجة تبقية Viscosity بجهاز البنترومتر Penetro meters. وقد تبين أن متوسطات قيم لزوجة المagma القاعدية تتراوح من ٦٥٠٠ إلى ٧٥٠٠ بوايز (أو وحدة لللزوجة المطلقة) عند درجة حرارة ١٢٥٠ م في حين تتراوح من ١٠,٠٠٠ إلى ١٥,٠٠٠ وحدة بوايز في حالة الألفا الحمضية السليكية.

وتساعد الغازات الذائبة في مواد المagma على تقليل كثافتها وسهولة تحريكها وانتسابها فوق سطح الأرض. وقد تبين أن مواد المنصهرات البركانية التي لا تزال تحتوي على بعض الغازات فيها يمكن لها أن تنبثق من باطن الأرض وتنساب فوق سطح الأرض حتى إذا انخفضت درجة حرارتها إلى أقل من ٩٠٠ م. أما إذا تسربت الغازات من مواد المنصهرات اللافية، فيؤدي ذلك إلى شدة لزوجة الألفا ونمساكها وسرعان ما تتجمد بعد خروجها من الفوهات البركانية بإيام قليلة.

(1) a- Bullard, F.M., "Volcanoes ..." Edinburgh, (1962).

b- Mac Donald, G.A., "Volcanoes..." N.Y. (1972).

ويتجمع عن خروج الغازات والأبخرة من غوامات البراكين تكوين نطاقات هائلة الحجم من السحب المنخفضة الكثيفة، وكثيراً ما تكون سوداء اللون تبعاً لكثرة الرماد البركاني فيها، ويظهر فيها كذلك السنة من النيران تبعاً لاحتكاك ذرات الرماد بعضها ببعض الآخر، ومن ثم تسمى أحياناً بالسحب البركانية المتوهجة وعندما تتعرض هذه السحب لعمليات التفكاث تستقط على شكل أمطار غزيرة وتؤدي إلى حدوث الانسيابات الطينية البركانية. وهذه الأخيرة قد تعمل على تدمير المناطق العمرانية التي كانت تقع بجوار للبركان قبل ثورانه

ويلاحظ بأن الغازات والأبخرة التي تنبثق مع البراكين تكون مياه لم تكن موجودة على سطح الأرض من قبل، بل هي أصلاً مياه باطنية، وأطلق الجيولوجيون عليها تعبير المياه الأولية Juvenile Water وتعمل هذه المياه على إضافة مورد جديد من المياه لمياه البحار والمحيطات وقد أوضح الباحثون أن من بين أسباب ارتفاع نسبة ملوحة مياه البحار وكثرة نسبة الكلوريدات فيها يمرى إلى تأثير المياه الأولية التي تتكثف من الغازات البركانية والتي ترتفع فيها نسبة الكلوريدات<sup>(١)</sup>

---

(١) - حسن أبو الميثن : الإعجاز العلمي في القرآن الكريم ، الجزء الأول ، مع ثبات الله في السماء

والجزء الثاني مع ثبات الله في الأرض - مطبعة الميكان - الرياض - السعودية . ( ١٩٩٦ ) .

(٢) حسن أبو الميثن : أصول الجيولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الإسكندرية ( ١٩٩٥ ) .

## تصنيف المخروطات البركانية وثوراناتها

تختلف أشكال المخروطات البركانية تبعاً لخصائص المصهورات والمقذوفات البركانية. وقد يكثر وجود اللافا المنصهرة في مصهورات بركان ما في حين قد يشتد تطاير وانبثاق المواد الحطامية الصخرية في بركان آخر.

كما يتنوع شكل المخروطات البركانية بحسب اختلاف التركيب الكيميائي لمواد اللافا القاعدية والحمضية. ويصنف الباحثون أشكال الثورانات البركانية بعضها عن البعض الآخر، فهناك براكين تتميز ثوراناتها بكثرة السحب القائمة وأخرى لا يصحب ثوراناتها مثل هذه السحب، في حين تتميز بعض البراكين الأخرى ومنها بركان فيزوف بدورات محددة من النشاط والثوران البركاني، ويظهر في كل دورة شكل مميز لثوراناته. ولهما يلي عرض موجز لتصنيف أشكال المخروطات البركانية وثوراناتها.

### أولاً - أشكال المخروطات البركانية

#### Types of Cones

ميز الأستاذ كوتون في عام ١٩٤٤<sup>(١)</sup> بين مجموعتين مختلفتين من المخروطات البركانية هما:

أ- المخروطات اللافية Lava Cones وتتركب المخروطات البركانية في هذه الحالة من اللافا أساساً والمصهورات البركانية.

ب- المخروطات البركانية التي تتلّف من الحطام البركاني ومصفور الغلاف Pumice Cones ، حيث يتمزج مع المصهورات البركانية نسبة كبيرة من الغازات والحطام الصخري البيروكلاستي.

(1) Cotton, C.A., " Volcanoes and Landscape Forms " Wellington, N.Z.  
(1944)p.416.

ثم عدل كوتون هذا التقسيم وصنف أشكال المخروطات البركانية في أربع مجموعات رئيسية هي:

- أ - المخروطات البازلتية القاعدية Basal Cones
- ب - المخروطات الدرعية أو المهبشية Shield Cones
- ج - مخروطات الرماد البركاني Ash or Cinder Con
- د - المخروطات الطباقية المركبة Composite or Strato-Cones

أما الأستاذ آرثر هولمز<sup>(١)</sup> فقد ميز المخروطات البركانية في خمس مجموعات رئيسية تبعاً لاختلاف حجمها وأشكالها وتلخص هذه المجموعات فيما يلي:

#### ١ - المخروطات الجنينية الصغيرة: Embryonic Cones

وهي عبارة عن مخروطات بركانية محدودة الارتفاع مؤلفة من المنصهرات اللافية وتحيط جوانبها مقذوفات المفتتات الحطامية البركانية Pyroclasts . وتتمثل هذه المخروطات في المناطق الحديثة التعرض للبراكين ، وإن دلت على شيء فإنما تدل على بداية ميلاد مراحل تكوين المناطق البركانية . ومثل هذه المخروطات الصغيرة تستمد الألفا من عيون متفجرة صغيرة Explosion Vents ، وتبعاً لكثرة العيون البركانية في مناطق تكوينها تتألف من عدة مخروطات بركانية صغيرة متجاورة . ومن بين أمثلة تلك المخروطات ما يتمثل في منطقتي إيفل Eifel وسوابيا Swabia إلى الشرق من الغابة السوداء ، وفي بعض أجزاء من الفرع الغربي للأخدود الأمريقي العظيم بالقرب من روينزوري Ruwenzori . وعندما تنخدع الثورات البركانية في تلك العيون البركانية الصغيرة تحتل بالمياه وتظهر على شكل بحيرات تحيط بها جسور من الصخور والمقذوفات البركانية.

(1) Holmes, A., " Physical Geology " , London, (1958) p.452.

## ٢. مخروطات الفجار والرماد البركاني : Ash or Cinder Cones

تتكون مثل هذه المخروطات عندما ترتفع نسبة اللقذوفات الصخرية الحطامية Pyroclastic Materials مع المواد اللافية . وتتوقف سرعة نمو مخروطات الرماد البركاني تبعاً لسرعة تكوين الحفلات اللافية والمواد الصخرية الحطامية حول فوهة البركان<sup>(١)</sup> . ومن ثم تتميز أعالي المخروط البركاني ، ببناؤه من مخروطات صغيرة من الرماد واللقذوفات الحطامية البركانية . ومن بين نماذج هذه المخروطات تلك لبركان مونت نوفو Monte Nuovo الذي يبلغ ارتفاعه ٤٣٠ قدم وتكون في منطقة نابلى بعد حدوث ثورات بركانية استمرت لمدة ست سنوات منذ عام ١٥٣٨ ، ومخروط بركان رابوال Rabaul الذي تكون في جزيرة نيويرتان في عام ١٩٢٧

## ٣. القباب اللافية : Lava Domes

لا تبدو البراكين في هذه الحالة مخروطية أو هرمية الشكل ، بل يغلب عليها المظهر القبابي ، ويعزى ذلك إلى خصائص التركيب الكيميائي لمواد اللافا . فعندما تتألف اللافا الحمضية من نسبة مرتفعة من السليكات وخاصة ثاني أكسيد السليكون تؤدي إلى تكوين صخور الريوليت Rhyolite والبسيت Dacite والتراكيت Trachyte والزجاج الطبيعي Obsidians وتتميز هذه اللافا بإبان انصهارها بشدة لزجتها Highly Viscous وشدة تماسك جزئياتها ، ومن ثم تضعف درجة انسيابها وتحركها ولا تهتد كثيراً عن الميود والفوهات البركانية التي انبثقت منها ، وعلى ذلك تتكون مخروطات لافية قبابية الشكل عامة بالقرب من الميود الجانبية والرئيسية للبركان.

وإذا تجدد نشاط البركان وانبثقت منه لافا غير لزجة فتعمل الأخيرة على تكسير اللافا الحمضية القديمة في منطقة الفوهة وتبنى مخروطات أخرى جديدة . ومن بين أمثلة ذلك ما حدث لمخروطات براكين ساركوي

(1) Longwell, C.R., Knopf, A., and Flint, R.F., "Out-lines of Physical geology " , N.Y(1947)p.210.

Sarcoui ومخروطات براكين هضبة أوفرن Auvergne ، ومخروط  
بركان مملون Mamelons شمال مدغشقر.

وإذا تكونت مخروطات شبه قبابية في منطقة الفوهة الرئيسية  
للبركان. ثم تجدد النشاط البركاني، قد تعمل المصهورات اللافا الجديدة  
على دفع اللافا الحمضية إلى أعلى وتظهر الأخيرة على شكل عمود هائل  
الارتفاع كما هو الحال بالنسبة لمخروط بركان مونت بيليه Mont Pelee  
التي تكون في عام ١٩٠٢.

#### ٤- المخروطات الهضبية أو الدرعية: Shield Cones

تتألف المخروطات الهضبية أو الدرعية الشكل من اللافا البازلتية  
القاعدية العالية المرونة والسيولة. وعلى ذلك فعندما يثور البركان وتنبثق  
منه اللافا، تنساب على جوانب المخروط البركاني بسرعة، وتصدر لمسافات  
بعيدة تحت اقدام البركان قبل أن تتجمد. ونتيجة لاستمرار ثورات  
البركان تتكون فرشاة لافية هائلة الحجم تمت اقدام البركان متراكبة فوق  
بعضها البعض ويؤدي ذلك إلى زيادة انتشار المصهورات اللافاية حتى  
يصبح المخروط على شكل هضبة واسعة الامتداد من جهة، وتقل درجة  
انحدار جوانبه من جهة أخرى. ففي منطقة فوهة المخروطات الهضبية  
يتراوح الانحدار من ٨° إلى ١٠° في حين يتراوح من ٢° إلى ٥° عند قاعدة  
المخروط البركاني<sup>(١)</sup>.

ومن بين أشهر أمثلة المخروطات الهضبية أو الدرعية تلك التي تتمثل  
في مخروطات براكين جزر هاواي وجزر ساموا وجزيرة آيسلند. ومن  
بين المخروطات الهضبية في جزيرة هاواي مخروط بركان مونالوا Mauna  
Loa الذي يبلغ ارتفاعه نحو ٢٠.٠٠٠ قدم في حين يزيد قطر قاعدته عن  
٧٠ ميل، مما يدل على أن المخروط البركاني أشبه بهضبة بركانية منها إلى  
شكل المخروط الهرمي التقليدي. وينتمي إلى هذه المجموعة كذلك  
مخروطات براكين موناكيا Mauna Kea وكوهالا Kohala وكيلاويا Ki-  
lauea بجزيرة هاواي (١).

(1) Longwell, C.R., Knopf, A., and Filnt, R.F., " Out-lines of physical geology ", N.Y.(1947)p.219.

(2) (1) Holmes, A., " Physical Geology ", London, (1958) p.455.

### • - المخروطات المركبة : Composite Cones

اهم ما يميز هذه المجموعة من البراكين تنوع المواد المنبثقة فيها من ثوران بركاني إلى آخر، ومن ثم تشكيل المخروط البركاني بعدة خصائص تجمع أكثر من نوعين من أشكال المخروطات البركانية التي سبق ذكرها (١). لقد يتكون المخروط البركاني في بداية نشأته من مواد حطامية صخرية مختلطة مع اللافا ويظهر على شكل قباب حطامية وبازلتية، وعندما يجدد البركان نشاطه مرة أخرى قد تنبثق منه كميات هائلة من اللافا اللزجة القديمة وتشكبت أجزاء المخروط الأصلي وبناء للمخروطات الهضبية أو الدرعية . ثم قد تتشكل المخروطات الأخيرة بثورانات من اللافا اللزجة من جديد تنبثق من الفوهة الرئيسية ومن عيون وفوهات على جوانب المخروط البركاني . وهكذا يتشكل المخروط البركاني بظواهر متعددة على جوانبه، وقد يمثل في فوهته أكثر من مخروط بركاني ذات أحجام صغيرة ويطلق على الفوهة البركانية في هذه الحالة Nest Crater or Cone in Cone . وإن نلت هذه الظواهر البركانية على شيء فإنما يدل على تعدد ثورات البركان من فترة إلى أخرى، بل وفي كل فترة يتغير التركيب الكيميائي لمواد اللافا وتنوع الصخور والمخلفات البركانية.

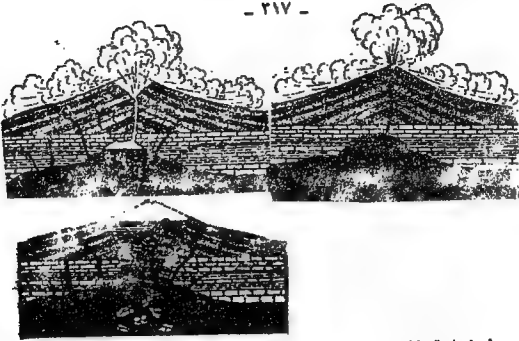
وكثيراً ما تتعرض فوهات المخروطات المركبة لعمليات الهبوط وحركات التصدع، وينتج عن ذلك اتساع الفوهة، وشدة انحدار جوانبها الحائطية ويطلق على مثل هذه الفوهات الهائلة الحجم والاتساع اسم الكالديرا Caldera أو الأحواض البركانية . (شكل ٨٧).

وإذا انضمت الثورات البركانية تماماً لتمتلا الكالديرا بالمياه، وتصبح على شكل بحيرات بركانية مثل بحيرة لوردجون Oregon في الولايات المتحدة وبحيرة توبا Toba في شمال غرب سومطرة.

---

(١) ويشير الأستاذ لونغويل C.R. Longwell إلى هذه المجموعة باسم البراكين

لتراكمة Strato Volcanes مثل بركان ماينون التراكمي .



ب - اتساع الفوهة.

١ - ثوران البركان.

ج - حدوث الصدع الكبير بالفوهة وهبوط أرضيتها وانخساف البركان.

شكل (٨٧) ١، ب، ج، مراحل تكوين الكالديرا

ومن بين نماذج المخروطات المركبة مخروط بركان إيزالكو إلى الغرب من سان سلفادور San Salvador في أمريكا الوسطى. وقد بدأ هذا المخروط حياته الأولى على شكل مخروط من الرماد البركاني Ash Cone حتى عام ١٧٧٠م ولكن بعد ذلك نشط ثوران البركان وتدفقت منه كميات كبيرة من اللافا القاعدية العالية المرونة والسيولة أدت إلى اتساع قاعدة المخروط وتغطيته لأجزاء واسعة من المنطقة، ثم تعرض المخروط من جديد لحركة بناء إلى أعلى بفعل تراكم اللافا الحمضية السليكية على شكل قباب لافية فوق فوهته الرئيسية وبعض العيون الجانبية. وهكذا ارتفع مخروط إيزالكو إلى نحو ٣٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضي المجاورة وينتمي إلى هذه المجموعة من البراكين المركبة مخروطات أثناء وشاستا، ومونت بيليه. وحيث تنتزع اللقذوفات البركانية طبيعياً وكيميائياً من ثوران إلى آخر بالنسبة للبركان الواحد، فإن معظم مخروطات البراكين تنتمي إلى مجموعة المخروطات المركبة.

## ثانياً - أشكال الثورانات البركانية

### Types of Eruptions

تختلف أشكال الثورانات البركانية من ثوران إلى آخر تبعاً لما يلي:

أ - مدى الضغط الناتج عن الغازات المصاحبة للمصهورات البركانية.

ب - كمية الغازات بالمصهورات البركانية.

ج - خصائص التركيب الكيميائي لمواد اللافا .

د - الأعماق التي انبثقت منها اللافا ومدى قوة انفجارها إلى أعلى .

ومن ثم استطاع علماء البراكين تمييز عدة أشكال مختلفة من الثورانات البركانية قد يتميز بها بركان ما عن آخر، كما قد يشوب البركان الواحد بأشكال من الثورانات المختلفة في كل مرحلة من مراحل ثوراته، وتتفلسف أهم أشكال الثورانات البركانية فيما يلي:

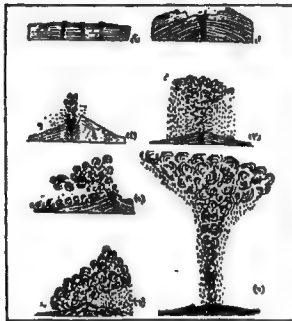
#### ١ - ثورانات هاواي : Hawyian Type

تتألف اللافا والمصهورات البركانية التي تتبع هذا الثوران من اللافا البازلتية العالية الانسياب والسيولة وتنسحب منها الغازات في هدوء وببطء.

وتندفع اللافا على شكل نافورات هائلة داخل فوهة البركان، وتتجمع اللافا في الفوهة حتى تصبح على شكل بحيرة لافية منصهرة وعندما تفيض اللافا تخرج من الفوهة وتنساب بسرعة على جوانب المخروط البركاني ، وإذا تعرضت نافورات اللافا في منطقة أعالي الفوهة البركانية لرياح شديدة سرعان ما يتطاير منها أجزاء لافية ساخنة تتخذ لنفسها شكل الخيوط الانسيابية الرقيقة وتشكل عانة منطقة فوهة البركان وما يجاورها. ويطلق سكان هاواي على مثل هذه الظاهرة اسم « شعر بلية » Pele's hair ، وجاءت التسمية من اسم آله النار بلية Pele عند سكان جزر هاواي<sup>(١)</sup>.

ويصاحب حدوث ثورانات هاواي انبثاق كميات هائلة الحجم من اللافا الانسيابية والتي يكثر فيها الغازات ،وتؤدي هذه اللافا إلى تكوين قباب السكوريا Scoria mounds أى قباب من اللافا المضربة ، وتكثر مثل هذه القباب حول العيون الثانوية الجانبية للبركان . ومن ثم يتميز هذا النوع من الثورانات البركانية بالانسيابات البركانية الجانبية أو السفحية Flank eruption (شكل ٨٨) .

وقد وصف الباحث ماك دونالد (٢) Mac. Donald ثوران بركان مونالوا Mauna Loa في عام ١٩٤٢ - وهو من نوع ثوران هاواي - وذكر بأن



شكل (٨٨) لشكال

الثورانات البركانية.

١- ثوران هاواي

٢- ثوران اليسلندة

٣- ثوران فلكان

٤- ثوران لسترمبولي

٥- ثوران فيزوف

٦- ثوران بيليه

٧- ثوران بليتي

المصهورات اللافية قد انبثقت أساساً من الشقوق والعيون الجانبية للبركان، وقد مرت دورة الثورانات البركانية بالمرحل الآتية:

١- تستغرق المرحلة الأولى وقتاً قصيراً تنطلق خلاله اللافا العالية الانسياب من العيون الجانبية وقد تكون القباب الهازلتيه للبعثرة والقباب الجانبية الهازلتيه الغازية Dribble Cones .

(1) Lacroix, A., " La montagne pelée après ses eruption " Acad, Sci, Paris (1908)p,74-256.

(2) Mac.Donald, G.A., " The 1924 eruption of Mauna loa Hawaii ", Amer, Jour.Sci, Vol. (1943)p,421-256.

ب- تنبثق اللافا المنصهرة في المرحلة الثانية من فوهة البركان بعد أن تفيض تلك الفوهة باللافا الإنسيابية ومن ثم تتجمع اللافا على جوانب المخروط على شكل فرشاة غطائية يتركب بعضها فوق البعض الآخر، ويساعد ذلك على بناء المخروطات الهضبية الشكل.

ج- يقل انبثاق المصهورات اللافية من عيون البركان الرئيسية والثانوية، وتتشكل قباب اللافا على جوانب المخروط بفعل العوامل الخارجية.

## ٢. ثوران استرمبولي: Strombolian Type

لا تتوكل المواد اللافية في ثوران استرمبولي من اللافا القاعدية البازلتية العالية السيولة كما هو الحال في ثوران هاواي ، بل يدخل فيها كذلك نسبة مرتفعة من اللافا الحمضية الغنية بالسليكات الثقيلة الوزن البطيئة الانسياب. كما تمتزج للواد السائلة المنصهرة بالمخزوفات الصخرية الحطامية. وعلى ذلك فعندما يثور البركان تنبثق اللافا الحمضية بصورة متقطعة وتتسرب الغازات على فترات متعاقبة كذلك مما يؤدي إلى حدوث انفجارات هائلة في فوهة البركان .

وخلال حدوث هذه الانفجارات تتطاير كمية كبيرة من القذائف والقذائل البركانية وقطع السكروريا في الجو وتتساقط على جوانب المخروط البركاني ، وتحت أقدامه. وقد تعمل تلك القذائف بدورها على إثارة السحب الممتلئة حول الفوهة، ومن ثم أطلق الناس على بركان استرمبولي اسم «منارة البحر المتوسط» حيث يرتفع هذا البركان النشط فوق إحدى جزر ليباري ( بالقرب من شمال جزيرة صقلية) بنحو ٢٠٤٠ قدم فوق سطح البحر.

## ٣- ثوران فالكان : Vulcanian Types

تتركب المخزوفات البركانية في ثورانات هذه المجموعة من اللافا اللزجة Viscous Lava والتي تتحول بسرعة من حالة السيولة أو الميوعة إلى كتلة

صلبة عند ظهورها على السفوح الجانبية للمخروط البركاني. وعلى ذلك قد تكون الالفا عادة قشرة لافية متجمدة شديدة الصلابة فوق منطقة الفوهة البركانية ولكن عند ثوران البركان من جديد يتمزق الغطاء اللافى القديم حول الفوهة، وتطأير فى الجو كميا كبيرة من الرماد والغبار البركانى الممتزج بالغازات . وتساعد هذه العملية الأخيرة على تكوين كتل هائلة الحجم من السحب الكثيفة السوداء والتي تشبه زهرة القرنبيط هائلة الحجم من السحب فى مناطق تبعد كثيراً عن فوهة البركان . وقد اعتبر الأستاذ مارسيلى 1991، Mercalli بركان فالكان Vulcano فى جزر ليبارى ، شمال صقلية المثال الرئيسى لهذه المجموعة من الثورات. وقد أوضح الأستاذ لacroix فى عام ١٩٠٨ بأن بعض فوهات بركان فيزوف وثوران كراكاتاو فى عام ١٩٦٠ لها نفس خصائص ثوران فالكان.

#### ٤. ثوران فيزوف : Vsuvian Type

يشبه ثوران فيزوف إلى حد ما ثوران فالكان حيث تتألف الالفا أساساً من مواد سليكية تؤدي إلى زيادة لزوجة الالفا وتراكمها فى منطقة فوهة البركان تبعاً لقلة سيولتها وضعف تحركها . وقد ينتج من ذلك انسداد أجزاء من الفوهة الرئيسية للبركان تعمل كصمام يحبس أسفله كميات ضخمة من الأبخرة والغازات الحمضية اللزجة وشبه المتجمدة وتطأير فى الجو وتندفع من فوهة البركان الستة هائلة من الغازات والمواد الحطامية الصخرية<sup>(١)</sup> (شكل ٨٩)

وقد وصف المؤرخ بلينى Pliny بركان فيزوف فى عام ٧٩ ق.م. وأكد بأن عمود الغازات والأبخرة ارتفع أعلى فوهة البركان على شكل نافورة عالية وبلغ طوله أكثر من كيلو مترين ومن ثم عندما يزداد ضغط الغازات وتنبثق الستة بهذا الارتفاع الهائل فيطلق على الثوران فى هذه الحالة تعبير ثوران بلينى Plinian Typs.

(١) للدراسة التفصيلية فيما يتعلق بشكل - بركان فيزوف ومراحل تطوره راجع : حسن أبو العينين ، لصل الجيومورفولوجيا ، الإسكندرية - الطبعة الثانية عشرة ١٩٩٦ .

• - ثوران بيليه : Pelean Type

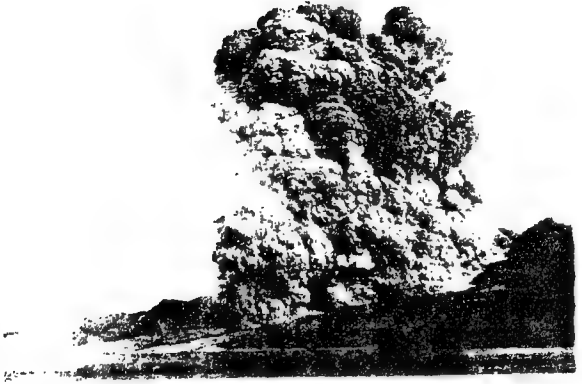
وتتميز مجموعة ثوران بيليه بشدة لزوجة المصهورات اللاقية كذلك وتعمل هذه اللافا على انسداد فوهة البركان وتحتبس أسفلها كميات ضخمة من الغازات ، وكلما كانت فترة انحباس الغازات طويلة ساعد ذلك على زيادة تجمعها ، وعند ثوران البركان تندفع الغازات والأبخرة بقوة هائلة إلى أعلى وتحطم الغطاء اللاقي للفوهة وتتطاير مواده على شكل قذائف، وتخليل، وصخور حطامية بركانية ويندفع بعدها السدة و، سورات السحب المتوهجة الالامعة Nuees Ardentes or Glowing Clouds والتي تعرف باسم سحب بيليه Pelean Clouds . وتتحرك هذه السحب بسرعة



شكل (٨١) ثوران بركان ليزوف وتزئيق القشرة اللاقية وتطايرها في الجو

كبيرة من منطقة البركان إلى المناطق المجاورة وتؤدي إلى انتشار الدمار والخراب في المراكز العمرانية (١). ( شكل ٩٠ )

وفي بعض الأحيان عند انسداد فوهة البركان ، تندفع السدة هائلة الحجم من اللافا خلال العيون والفتحات الجانبية للمخروط البركاني وتندفع اللافا بسرعة على شكل انهيارات لاقية تكتسح كل ما يحاذيها على جوانب المخروط البركاني. وقد نتج عن ثوران بيليه وسحبه الكثيفة المتوهجة في عام ١٩٠٢ هلاك جميع سكان مدينة سانت بيير St- Pierre الواقعة بجوار البركان فوق جزيرة مارتنيك الفرنسية (من مجموعة جزر الانتيل الصغرى) ، وقد لقي نحو ٣٠,٠٠٠ نسمة مصرعهم خلال ثوران هذا البركان في عام ١٩٠٢ .



شكل (٩٠) ثوران بركان بييله وسحب للترهبة الالمة فى عام ١٩٠٢

وقد اضاف الأستاذ فرد بولارد (١) Bullard, F. M فى كتابه المشهور عن البراكين مجموعة أخرى من الثورانات البركانية وأطلق عليها اسم ثورانات إيسلند Icelandic Type . وأوضح بأن هذه الثورانات تنبع من الشقوق فى الطبقات الصخرية وتنشق إلى السطح وتكون فرشاة لافية تغطى مساحات واسعة من الأرض. ويميز عدم قدرة اللافا على تكوين مخروطات بركانية إلى ارتفاع سيولتها من جهة وانثقافتها عبر كثير من الفتحات والشقوق من جهة أخرى. ومن بين نماذج هذه المجموعة الثورانات البركانية فى إيسلند التى كونت هضاب إيسلند ، والهضاب البركانية فى كولومبيا التى تنتشر فى القسم الشمالى الغربى من الولايات المتحدة الأمريكية.

---

(1) Bullard, F.M., " Volcanoes...", Edinburgh (1962).

## بعض الظواهر الأخرى التى تصاحب حدوث البراكين

### ١. رخات الرماد البركانى : Ash showers

من المقذوفات المهمة التى تنبثق من الفوهات البركانية خاصة تلك التابعة لمجموعتى فالكان وييليه الرماد البركانى . وقد أسفرت المعلومات التاريخية على أن الرماد البركانى كان معروفاً خلال العصور التاريخية الأولى، وأن مناطق واسعة الامتداد من سطح الأرض قد غطيت بكميات كبيرة منه عند ثوران بعض البراكين النشطة . وقد نتج عن بركان تاراورا Tarawera فى نيوزيلندا عند ثورانه فى عام ١٨٨٦ أن غطيت المناطق المجاورة له بالرماد ومقذوفات صخرية مفتلة شملت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٣٠ ميلاً كما انبثق من ثورانه بركان تامبورا Tambora فى جزر الهند الشرقية زهاء ١٥٠ ميلاً مكمباً من الصخور والمفتتات الصخرية والرماد. أما أشهر ثوران فهو ما حدث فى بركان كراكاتاو Krakatau فى عام ١٨٨٣ حيث انبثق من البراكين كميات هائلة من الرماد والمقذوفات الصخرية بلغ سمكها نحو ٢٠٠ قدماً وشملت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٢٠٠ ميلاً، واستطاع الرماد أن يدور مع الغلاف الجوى حول الكرة الأرضية دورة كاملة.

وقد ينتج عن رخات الرماد البركانى وتغطيتها الأرض السهلية المجاورة حدوث أضرار وخسائر جسمية كما أنها تغطى سطح الأرض عادة بسحابة قاتمة سوداء من الأتربة والرماد والدخان تؤدى إلى هلاك الأرواح، وعلى سبيل المثال تسبب رماد بركان تامبورا فى جزر الهند الشرقية فى مصرع نحو ١٠٠.٠٠٠ نسمة.

ويؤثر اختلاف التركيب الجيولوجى للرماد والغيبار البركانى عندما يسقط فوق سطح الأرض فى المظهر الجيومورفولوجى العام للإقليم الذى تتجمع فوقه هذه الرواسب، فإذا تميزت رواسب الغبار بشدة مساميتها فإن ذلك يساعد على تسرب المياه السطحية فى باطنها، أما إذا تكون الغبار البركانى من ذرات دقيقة الحجم وتخلخت أى مواد أخرى فيها وعملت كمادة لاحمة لهذه الذرات، فيبدو الغبار على شكل غطاءات إرسابية بركانية لزجة شبه صلبة وغير مسامية. وتبعاً لهذه الخصائص فلا تساعد على تسرب المياه فى جوفها ومن ثم تشكل التحصريف النهري بخصائص غير

تلك التي في الحالة الأولى، كما قد تعمل هذه الرواسب كذلك على طمس بعض الظواهرات الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض، وذلك بردم المنخفضات المقعرة وتسوية أراضي القباب المحدبة ومن ثم تبدو المنطقة على شكل سهول مستوية تشغل سطحها الظاهري المفتتات والرواسب البركانية.

وتتميز رخات الغبار البركاني عامة بكونها باردة ، إلا أن الغبار الذي صاحب السحب المتوهجة Nuees Ardentes لبركان بيليه في عام ١٩٠٢ كان من السفينة لدرجة أنه عمل على مسهر قطع الزجاج التي تساقط عليها ، وقد نتج كذلك عنه رذاذ بركاني ساخن.

## ٢. الانسياب الطين البركاني - لاهار - Volcanic Mudflows

قد تنساب من أعالى المخروط البركاني كميات ضخمة ، من الطين وتندحر نحو أقدامه وإلى للناطق السهلية المجاورة. وحيث أن عملية انسياب الطين Mud Flows كثيرة الحدوث في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية خاصة عند حدوث الأمطار الأعاصرية والسيول ، لذا أطلق الأستاذ كوتون في عام ١٩٤٤ ، تعبير « لاهار » Lahars على الطين البركاني الزاحف تمييزاً له عن الإنسيابات الطينية الأخرى . وتساعد العوامل التالية على تكوين الطين البركاني الزاحف « لاهار » :

أ - سقوط أمطار غزيرة إبان تكوين السحب البركانية المتوهجة، تساعد على إرساب كميات ضخمة من الرماد والغبار، وعندما يمتزج بالمياه ، فقد يؤدي إلى تكوين فرشاة طينية تنساب على سطح الأرض .

ب - امتزاج رواسب السحب المتوهجة المنخفضة عند انحدارها من فوهة البركان نحو الأراضي السهلية المجاورة، بأسطح المياه ( مياه الأنهار والبحيرات .. ) . في المنطقة.

ج - تعرض مياه بحيرات فوهة البركان لفعل التبخر ، ثم امتلائها من جديد بالرماد.

وقد وصف الباحث سكريفندر Scrivenor في عام ١٩٢٩، الطين البركاني الزاحف (لاهار) الذي نجم عن ثوران بركان جوتونج كالبيوت Gunog Keloet في جاوة . ولكد أن التركيب الجيولوجي لمواد اللاهار تشبه تلك في الرواسب الجليدية حيث أن كليهما يتركبا من رواسب ركامية غير طباقية ويتألفان من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم والنوع . وقد يكون زحف الطين البركاني سريعاً خاصة إذا ازداد حجم المواد التي تناسب من أعالي المضروب البركاني نفسه . وعندما ينساب الطين فوق الأراضي السهلية المجاورة يتميز سطحه بظهوره على شكل قباب متموجة الشكل وتتركب من تلال صغيرة Hummocks تشبه تلك الناتجة عن عمليات الانزلاقات الأرضية .

### ٣. القباب اللافية اللزجة : Plug Domes

عندما تتميز اللافا الحمضية الأندسيتية والرايوليتية Andesitic and Rhyolitic Lavas بشدة لزجتها ، فقد يصعب انسيابها أو زحفها نحو المخضرات السفلى تحت أقدام المضروب البركاني . وقد ينجم عن شدة لزجتها التصاقها بالأسطح المجاورة لغوثة البركان نفسه . وتبعاً لتوالي انبثاق اللافا قد يزداد تراكمها حول الغوثة الرئيسية مكونة قباباً لافية . وإذا تصادف تكوين مثل هذه المواد اللافية اللزجة في شقوق تمتد أسفل طبقات صخرية ، فقد تؤدي إلى رفع الطبقات الصخرية التي تقع فوقها ومن ثم تظهر الأخيرة على شكل قباب صخرية . ويطلق على القباب البركانية الناتجة عن تجمع المصهورات اللافية اللزجة اسم Plug Domes . وقد رجحت أسماء ثانوية أخرى بالإضافة إلى هذا التعبير العام لكي ترمز إلى الأشكال المختلفة التي تظهر عليها القباب . فإذا كانت القباب تشبه شكل نبات المشروم (عش الغراب) فيطلق عليها تعبير قباب عش الغراب Mushroom - like form, Cumulo domes or Tholoids أو القباب التراكمية .

وتعد ظاهرة القباب اللافيية اللزجة واسعة الانتشار في المناطق البركانية ومن بين أظهر أمثلتها قباب قمة لاسين البركانية Lassen في الولايات المتحدة الأمريكية وقياب مونو Mono Craters على السفوح الشرقية لمرتفعات سيرانيفادا ، وبعض القباب اللافيية التي تصاحب براكين الهضبة الوسطى في فرنسا، وقياب جزر بوجو سلوف Bogoslof Islands في خليج السكا.

٤- يواجه تعبير « الأحواض البركانية » كثيراً من النقد ذلك لأنه لا يميز بين الأحواض التي تنشأ تبعاً لعمليات ثوران أو انفجار البراكين Vol canec explosion تلك التي تنجم عن عمليات الهبوط الأرضي -Subsidence. ولا تزال تمثل مشكلة نشأة الأحواض البركانية الكبرى التي تعرف باسم « الكالديرا » Calderas في الوقت الحاضر أهم المشاكل الحديثة في علم البراكين Volcanology . وقد بذل كل من الباحثين ويليامز Williams في عام ١٩٤١ وجاكار Jaggar في عام ١٩٤٧ ، جهداً كبيراً في تصنيف الأحواض البركانية المختلفة . وقد ميز كل منهما ثلاث مجموعات رئيسة هي الفوهات البركانية، والكالديرا ، والأحواض التكتونية ويمكن أن نوجز تصنيفها في البيان التالي:

(أشكال الأحواض البركانية) ثلاث مجموعات هي :

(١) الفوهات البركانية:

أ- الفوهات التي تنجم من ثوران البراكين .

ب- الفوهات التي تنجم عن بناء جسور تراكمية حول مخرج القصبه الهوائية للبركان.

ج- الفوهات التي تنجم عن عمليات الانهيار أو الهبوط .

(٢) الكالديرا : (الفوهات البركانية الكبرى )

أ- الكالديرا التي تنجم عن عمليات الانهيار أو الهبوط.

ج- الكالديرا المركبة النشأة .

### (٣) الأحواض التكتونية البركانية:

ولم يظهر حتى الآن تقسيم جامع مانع يشمل كل أنواع الأحواض والفوهات البركانية ويميز بين تلك التي تتشابه فيما بينها من ناحية الشكل إلا أنها تختلف من بعضها البعض من حيث النشأة. قد أطلق بعض الكتاب تعبير « فوهات Craters » على كل الأحواض والمنخفضات مهما اختلفت أحجامها وأشكالها أو تعددت نشأتها ، حتى شمل التعبير كذلك الأحواض الناشئة عن فعل سقوط الكويكبات بل وتلك الناجمة عن فعل القنابل المتفجرة أو أعمال المناجم المختلفة. ولكن يرجح الكاتب بأن تعبير « فوهة بركانية Craters » يحسن أن يستخدم لكى يرمز إلى الفوهات البركانية الناشئة الصغيرة الحجم نسبياً ، أما تعبير كالديرا Cal-deras ، فمن الأفضل أن يطلق على الأحواض أو المنخفضات الواسعة الانتاع والعمق معاً. ومما يساعد على زيادة حجم الكالديرا تعرض الفوهة لأكثر من ثوران بركانى وهبوط أرضيتها ، وتطعيم جوانبها ثم تجديد عملية بنائها من جديد ، ومن ثم تصبح هائلة الحجم . وبالتالي فإن الفوهة البركانية عبارة عن انخفاض على شكل طبق عميق (Bowel - or Funnel shaped Depression من أصل بركانى ، ويظهر محيط الانخفاض على شكل دائرية يحيطها حواف حائطية شديدة الانحدار جنأ فى الاتجاه المواجه لمركز الفوهة أما الكالديرا فهي تشبه فوهة البركان من ناحية الشكل العام إلا أنها أكبر اتساعاً وحجماً ، وقد يزيد متوسط الكالديرا عن خمسة أمثال متوسط قطر الفوهات البركانية العامة.

أما الأحواض التكتونية البركانية فيساعد على تكوينها تأثير الفوهات البركانية الكبرى بكل من فعل التصدع والهبوط . وقد تؤدي الصدوع إلى تكوين خنادق عميقة على سفوح المخروط تعرف باسم « Sector Grabens » وقد رجح الأستاذ دالى Daly فى عام ١٩٢٢ ، أن نشأة هذه الخنادق العميقة يرجع إلى تأثير فعل تصدع وانزلاق الكتل الصخرية إلى المرمى الأسفل لهذه الصدوع ، ثم انبثاق اللافا والحمم البركانية على طول أسطح الصدوع ، وبهذا تشكل المظهر العام للمخروط البركانى. وقد أطلق « دالى »

على مثل هذه الخنادق البركانية الصدمية اسم Volcanic Rents

هـ الهضاب والسهول البركانية: Volcanic Plateaus and plains

قد تظهر أحياناً في بعض أجزاء من سطح الأرض فوهات بركانية صغيرة إلا أنها متعددة وتندفع منها الألفا بكميات كبيرة، وتؤدي الأخيرة بدورها إلى بناء مناطق هضبية واسعة الامتداد. ويتميز سطح بعض هذه الهضاب كما هو الحال في الهضاب البركانية في حوض نهر سنك Snake River ونهر كولومبيا Columbia في أمريكا الشمالية باستوائه التام، بحيث يمكن أن يطلق عليها كذلك اسم السهولة اللافية Lava plains . ومن بين أحسن أمثلة الهضاب البركانية في العالم تلك التي تشغل أجزاء واسعة من حوض نهر كولومبيا في شرق ولاية واشنطن Washington والهضاب البركانية في كل من ولايات أوريغون Oregon ونيڤادا Nevada ، أيداهو وهضبة يلوستون Yellowstone في ولاية وايومنغ بأمريكا الشمالية. وكذلك هضبة الدكن في شبه القارة الهندية، وهضبة دراكنزبرج Drakensberg في جنوب إفريقيا، وهضبة بارانا Parana في جنوب البرازيل، والهضاب البركانية في أوروغواي والأرجنتين، وهضبة أجنيمبريت في أواسط الجزيرة الشمالية في نيوزلند. وتتألف معظم هذه الهضاب البركانية من الألفا البازلتية Basaltic Lava إلا أن كلاً من هضبة يلوستون وأجنيمبريت تتركب من صخور الياوليت Rhyolites.

وتعتبر الينابيع اللافية في هضبة كولومبيا من أنشط الينابيع البركانية ثوراً في العالم خلال العصور الجيولوجية المختلفة، حيث غطت الألفا مساحة تزيد عن ٢٠,٠٠٠ ميل ربع، كما تتركب من لفرشات لافية شبه طهانية تلح متعاقبة فوق بعضها البعض ويتراوح سمكها من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ قدم إلا أن سمك الفرشة أو الطبقة اللافية الواحدة يبلغ في المتوسط نحو ٢٠٠ قدم. وتبعاً لشدة التعرية النهرية في مجرى نهر سنك فقد تمكن الأخير من تكوين أودية أخدودية عميقة جداً في التكوينات اللافية بحيث أصبحت بعض أجزاء من واديه أشد عمقاً من

أخدود كلورادو العظيم. ففى بعض أجزاء على طول أخدود وادى سنك قطع النهر أخدوداً عميقاً يمتد لمسافة طولها نحو ٤٠ ميلاً ومتوسط عمقه نحو ٥٥٠٠ قدم من سطح الأرض، وتنبثق كميات هائلة من اللافا خلال الشقوق الكثيفة للمتشابكة التى تقطع أرضية الوادى ، وقد استطاع نهر سنك فى بعض الأجزاء الأخرى أن يشق خانقاً بلغ عمقه نحو ١٠٠٠ قدم فى صخور الجرانيت التى تقع بنورها أسفل صخور البازلت.

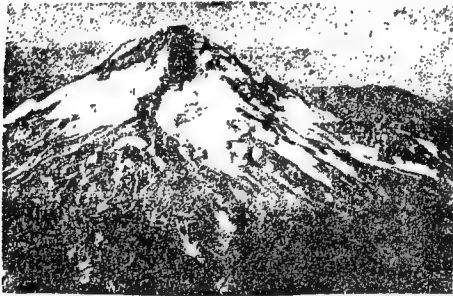
وتعد السهول اللافية فى حوض نهر سنك التى تشغل الجزء الجنوبى من ولاية إيداهو مكملة لمنطق هضبة كولومبيا البركانية ، على الرغم من الأولى أقل وهرة وتضرساً من هضبة كولومبيا من ناحية ، كما أن اللافا البركانية البلايوسينية والبلايوستوسينية التى تغطيها أحدث عمراً من اللافا البركانية الميوسينية التى تتألف منها هضبة كولومبيا من ناحية أخرى . ويتنشر فوق سطح الهضبة الأخيرة بعض التلال الانفرادية المنعزلة. وتعرف باسم Steptoes ، وقد جاءت التسمية من التلال البركانية المعروفة بهذا الاسم والتى تقع فى شمال كولفاكس Colfax فى ولاية واشنطن - كما يتميز سطح هذه الهضبة كذلك بشكله القبابى الموج وذلك يرجع إلى انتشار المخروطات البركانية الصغيرة من جهة وإلى انبثاق المائجا والمقذوفات البركانية من الشقوق التى تظهر على السطح من جهة أخرى . وقد ذكر الأستاذ ستيرن Stearns فى عام ١٩٣٦ أنه لاحظ أكثر من ١٠٠٠ ينبوع بركانى على طول جوانب أخدود وادى سنك فى هضبة كولومبيا ويعزى مصدر هذه الينابيع إلى اللافا البازلتية المنصهرة من أعماق بعيدة عن سطح الأرض.

وقد دلت الدراسات التى أجريت فى الهضاب البركانية فى أجزاء متفرقة من العالم على أن نشأة هذه الهضاب ترجع إلى توالى انبثاق المصهورات والمقذوفات والحمم البركانية خلال الشقوق وفتحات الفوالق الكبرى Fissure Brupction كما يعتقد كذلك أن عملية انبثاق المقذوفات البركانية حدثت بهبطه وبهدوء شديدين ذلك لأنه لم يعثر فى تكوينات الهضاب على أى مواد صخرية حطامية بيروكلاستية مختلطة مع البازلت .

وعلى ذلك فهناك علاقة كبيرة بين اتجاه كل من المخروطات البركانية Spatter & Cinders Cones والشقوق والفوالق التي أثرت في التركيب الجيولوجي للإقليم . وتظهر هذه العلاقة واضحة عند دراسة اتجاه الشقوق والفوالق والقلب البركانية البازلتية والغطاءات اللافية في كل من الأخدود الأمريكى، وغور الراين الهابط Rhine Graben ومطقة بيبه البركانية Pys في منطقة فرنسا الوسطى.

#### ٦- الهياكل البركانية : Volcanic Skeletons

عندما تنجم الثورات البركانية ، يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة في تشكيل المظهر العالم للبركان. ومن هنا تبدأ مرحلة هدم المخروط البركاني. (شكل ٩١) وإذا استمرت عوامل



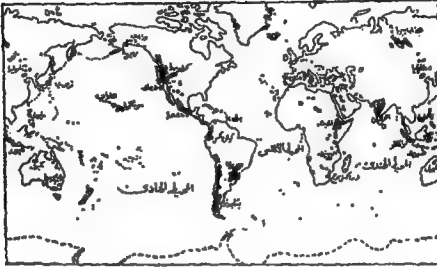
شكل (٩١) انحدار بركان مونت هود Hood Mount في اوريجون بالولايات المتحدة، وتعرضه لفعل التجوية وعوامل التعرية.

التعرية في نحت مخروط البركان مدة طويلة من الزمن، فقد ينجم عن هذه العملية تساقط جدران فوهة البركان إما في باطن الفوهة نفسها أي في غرف الصهبر القديمة Magma Chambers أو تدزلق على السفوح

الجانبية للمعروف تبعاً لآثار الانحدار وفعل الجاذبية الأرضية. ويعمل على تفكيك صفور البركان كل من فعل التجوية الميكانيكية وعوامل التعرية المختلفة الأخرى، التي تنقل بدورها المفتتات الصخرية إلى مناطق بعيدة عن موقع البركان نفسه وتبعاً لتوالي عمليات التآكل والتفتت في الأعزوجة البركانية فقد يزال أجزاء كبيرة من غشاء اللابة بالانزوية ولا يتبقى منه في النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتنتشر بمنزلة صفير الأرضى للجاورة ويطلق عليها اسم « الهيسيتا » البركانية، ومن أهم أمثلتها بركان شيبروك Shiprock في المكسيك، وهيكل سانت ميشيل St. Michel في منطقة « بيه » في فرنسا، وهيكل ديفل تور The Devil's Tower<sup>(١)</sup> في ولاية وايومنغ وكذلك بعض البراكين القديمة المعمر في ولايات أريزونا ويوتا ومرتفعات كيريزى Crazy Mts في مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية.

#### التوزيع الجغرافى للبراكين.

يتمنى معظم البراكين الممتلة فوق سطح الأرض إلى القسمين الأوسط والأخير من الزمن الجيولوجى الثالث، وقليل من البراكين تعد حديثة العمر الجيولوجى، ومن النادر أن يتمثل فوق سطح الأرض براكين أقدم من الزمن الجيولوجى الثالث. وإذا كان عدد البراكين الخامدة التي تنتشر في مناطق واسعة من سطح الأرض يزيد عن عدة آلاف فإن البراكين النشيطة لا يزيد عددها عن ٥٠٠ بركاناً وترتبط بمناطق محددة من سطح الأرض، ألا وهي المناطق الضعيفة جيولوجياً والحديثة النشأة ومن ثم فإن أظهر نطاق للبراكين يتمثل في تلك النطاق الذي يحيط بمعظم سواحل المحيط الهادى والمعروف باسم حلقة النار Ring of Fire ويقدر عدد البراكين النشطة في هذا النطاق بنحو ٣٠٠ بركاناً أى نحو ٦٠٪ من جملة عدد البراكين النشطة أو النشيطة في العالم. (شكل ١٢).



شكل (٩٢) التوزيع الجغرافي لأهم البراكين والخطاب البركانية في العالم

وتظهر براكين هذا النطاق الكبير في أجزاء متفرقة من مرتفعات الأنديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى والمكسيك (سيراماديرا الغربية)، ومرتفعات الكاسكيد في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، ومرتفعات كولومبيا البريطانية وقوس جزر ألوشيان شمالاً. أما على طول السواحل الشرقية لآسيا فتظهر براكين هذا النطاق كذلك في أتواس الجزر المحيطية في شرق وجنوب شرق آسيا، خاصة في مجموعات جزر الفلبين، وسيليبس ونيوغيينيا وسولون ونيو كاليدونيا وجزر نيوزيلند . ويوضح الجدول الآتي بهاداً بالبراكين النشطة في حلقة النار حول المحيط الهادي.

عدد البراكين	المواقع ( الجانب الغربي للمحيط الهادى )	عدد البراكين	المواقع ( الجانب الشرقى للمحيط الهادى )
٩	كمشتكا	٣٥	قوس الوشيان والسكا
١٣	كوديل	١	غرب الولايات المتحدة
٣٣	اليابان	٩	المكسيك
٩٨	الفلبين	١٤	جواتيمالا
١٥	نيوغيينيا	٧	نيكاراجوا
٢	جزر سولومون	٥	كوستاريكا
٧	نيروبرينز	٩	جزر الاندلس الصغرى
٦	تونجا	١١	مرتفعات الأنديز الشمالية
١	كرمانوك	٩	مرتفعات الأنديز الوسطى
٢	نيوزيلند	٢	جزر الاندلس الكبرى

ومن دراسة هذا الجدول يتضح أن أكثر البراكين النشيطة عدداً بالجانب الشرقى من المحيط الهادى تتمثل فى كل من قوس جزر الوشيان والسكا، ومرتفعات جواتيمالا، ومرتفعات الأنديز الشمالية. أما على الجانب الغربى من المحيط الهادى فإن أكثر البراكين النشيطة عدداً تتمثل فى جزر الفلبين واليابان ونيوغيينيا.

كما تظهر البراكين فى نطاقات ثانوية متناثرة تتلخص فيما يلى:

١- فى بعض الجزر المحيطية بالمحيط الهادى نفسه كما هو الحال بالنسبة لبراكين جزر هاواى. Hawaiian Is وجزر جلابا جوس Galapagos وجزر جوان فرناندز Juan Fernandes .

٢- فى بعض الأتواس الجزرية فى المحيط الهندى حيث تظهر البراكين فى جزر تيمور Tompr وJava ، وبالى Bale وسومطرة Sumatra .

ويوجد في جزيرة جاوة ١٩ بركاناً نشيطاً كما يبلغ عدد البراكين النشيطة في جزيرة سومطرة ١١ بركاناً .

٣- نطاق براكين حوض البحر المتوسط، ويمتد هذا النطاق شرقاً ليشمل براكين مرتفعات أرات Ararat ، ويضم غرباً براكين جزر أزورس Azores وكناري Canary.

٤- نطاق براكين القسم الجنوبي من شبه الجزيرة العربية وجزيرة مدقشقر وبراكين الأخدود الأفريقي العظيم.

٥- نطاق براكين جزر البحر الكاريبي.

٦- نطاق براكين جزيرة آيسلندا.

أما أظهر المناطق التي تتميز بالبراكين الخامدة فتتمثل في ولاية أريزونا ونييفادا ويوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية، وبعض براكين المكسيك وكذلك براكين إقليم أوفرن Auvergne region في فرنسا وبراكين إقليم إيفل Eifel في ألمانيا.

## ثالثاً - النافورات والينابيع الحارة

### Geysers and Hot Springs

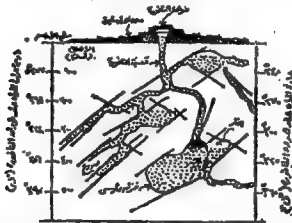
قد يرتبط مع مناطق البراكين ظواهر تضاريسية (بفعل القوى الداخلية الفجائية) قليلة الانتشار فوق سطح الأرض ولها بعض التأثير في تشكيله وهي المعروفة باسم المداخن Formaroles والينابيع الحارة Springs والنافورات أو الفوارات الحارة Geysers. وليس من الضروري أن تتمثل هذه الظواهر في مناطق بركانية، بل قد تصدت كذلك في مناطق لم تتأثر بالنشاط البركاني على الإطلاق ، إلا أن المياه المعدنية الحارة التي تنبثق مع الينابيع والنافورات الحارة لابد وأن تكون قد تجمعت في باطن الأرض على مسافات بعيدة أو قريبة من سطح الأرض، وفوق صفور نارية ساخنة وتندفع المياه إلى أعلى بفعل الضغط الهيدروستاتيكي مكونة نماذج متعددة من تلك الظواهر السابقة. ومن الصعب التمييز بين كل من الظواهر المختلفة حيث إن هناك بعض أوجه الشب فيها، كما قد تتحول المنخنة إلى ينبوع حار أو نافورة حارة بمرور الزمن ، إذا ما ساعدت الظروف الجيولوجية على ذلك.

ويقصد بتعبير مدخنة Smoker انبثاق الأبخرة والغازات من شقوق في الأرض، دون أن تخرج مياه جوفية ساخنة. وتتألف الغازات عادة من غاز ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ونسب قليلة من الكلور والميثان. وقد تتمثل المنخنة في بعض المناطق البركانية، كما قد توجد في مناطق غير بركانية وفي هذه المناطق الأخيرة تندفع المياه الجوفية الساخنة من أعماق بعيدة وتتجه نحو سطح الأرض ، ولكن تبعاً لقلة كميتها أو لضعف قوة الضغط الهيدروستاتيكي الدافع لها، فإنها تتحول إلى غازات وتندفع تلك الغازات والأبخرة عبر فتحات الشقوق الصخرية مكونة المداخن كما هو الحال في منطقة غاملة - بجايا - شمال غرب قسنطينة في الجمهورية الجزائرية.

أما الينابيع أو العيون الحارة Hot springs فهي عبارة عن مياه جوفية تندفع من باطن الأرض باستمرار أو على فترات متقطعة، وتتميز المياه بارتفاع درجة حرارتها وعلى نسبة مرتفعة من الأملاح الذائبة والمواد

الشائبة وقد يختلط بالمياه مواد معدنية كالكبريت والأملاح القلوية والمواد الجيرية والسليكية وأملاح الراديوم. وقد تقسرب بعض هذه المواد بجوار فوهة الينابيع بعد تبخر الحاميل التي كانت تحتويها . وتتكون بجوار فوهات ينابيع ماموث الحارة في منطقة يلوستون بلاك Yellow stone park في الولايات المتحدة- مدرجات جيرية تتألف من كربونات الكالسيوم الذائبة في مياه الينابيع.

أما النافورات أو الفوارات الحارة - الجيزر Geysers (١) فهي تشبه الينابيع الحارة من حيث ارتفاع درجة حرارة مياهها واحتوائها على نسبة مرتفعة من الأملاح والمعادن، وكثيراً ما تكون مياه النافورات جيرية أو سليكية . ولكن تختلف النافورات عن الينابيع الحارة في أن المياه تنبثق منها على شكل نافورات قد تكون هائلة الارتفاع - يتراوح ارتفاعها من بضعة أمتار إلى نحو ٥٠ متراً - وليس من الضروري أن تكون عملية انبثاق نافورات المياه الحارة مستمراً بل قد يحدث هذا الثوران على فترات منتظمة تتراوح كل بضع دقائق أو كل بضع ساعات بل وقد يستمر ثوران بعض النافورات الحارة لكل عدة أيام أو أسابيع (شكل ٩٣).



شكل (٩٣) قطاع لنافورات حارة يوضح درجة حرارة المياه قبل الثوران وبعده.

وتجمع المياه الجوفية في خزانات عميقة متأثرة بالصندوق

(١) اسم الجيزر Geysers مكتسب من النافورة المعروفة بهذا الاسم والموجودة في أيسلند بالقرب من بركان هكلا Heckla . ويبلغ متوسط قطرها ٦٦ قدماً ويحق للمياه فيها ٤ أقدم، وتتراوح درجة حرارة مياهها السليكية من ٧٥ - ٩٠ م .

ويعزى السبب في ذلك إلى الوقت اللازم لتجمع المياه الجوفية في قسبة النافورة وخزائها الجوفى ، وقد ترتفع درجة حرارة المياه بتأثير ملامستها للصخور الساخنة حول خزان وقسبة النافورة إلى الحالة التي تتحول المياه عندها إلى بخار (فوق درجة الغليان ١٠٠م) ولكن لا تتحول المياه إلى بخار تبعاً للضغط الواقع عليها من عمود الماء المتجمع في قسبة النافورة. وعندما تزداد درجة حرارة المياه سرعان ما يتدفع جزء من المياه إلى أعلى، ومن ثم يقل الضغط الواقع فوق الخزان الجوفى وتحول المياه فجأة إلى بخار . ويعمل البخار كذلك على دفع المياه بفعل الضغط الهيدروستاتيكى إلى أعلى خلال قسبة النافورة. وعندما تفرغ النافورة ما يتمثل بقسبتها من مياه تهدأ فترة الثوران إلى حين أن تتجمع المياه الجوفية داخل خزان النافورة الجوفى وقسبتها لتعيد ثورانها من جديد. (شكل ٩٤).



شكل (٩٤) ثوران نافورة أولد فايثفول Old Faithful في حديقة يلوستون بالولايات المتحدة الأمريكية.

وقبل الحديث عن الظواهر التبخارية المختلفة التي قد تصاحب حدوث النافورات الحارة يحسن أن نشير كذلك إلى مصادر مياهها .  
والعوامل التي تساعد على ارتفاع درجة حرارتها .

#### أ - مصادر مياه النافورات الحارة :

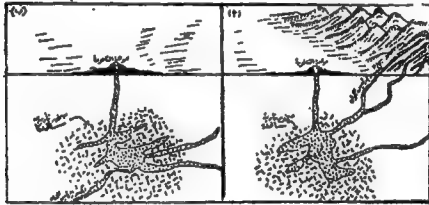
يمكن القول أن المصدر الرئيسي لمياه النافورات الحارة يتمثل في مياه الأمطار والمياه المنصهرة من الثلج والتي تعرف باسم المياه الجوية Meteor- Water وتنتسرب هذه المياه إلى أعماق بعيدة في باطن قشرة الأرض .  
وتعمل خلال رحلتها الطويلة على إذابة بعض معادن الصخور وتحللها ويساعد حدوث عملية نوبان بعض المعادن الصخرية ارتفاع درجة حرارة المياه في هذه الأعماق البعيدة . أما المصدر الثاني لمياه الينابيع الحارة فيتمثل في المياه اللافية أو مياه الصهير Magmatic Water المخزونة في طبقات اللافا نفسها . وقد تحتوي المياه على بعض المعادن النادرة مثل الارستنيك Arsenic واليورون Boron وتعتبر نافورة كاشاي في السكا Kutmai of Alaska من النافورات الحارة التي تستمد مياهها من مياه الصهير المخزونة في تكوينات اللافا وتبلغ درجة حرارة مياهها نحو ٦٠٠°ف . ويتبع هذه المجموعة من النافورات الحارة كذلك ، تلك التي تظهر في جنوب ولاية إيداهو Idaho بالولايات المتحدة الأمريكية .

وتجدر الإشارة إلى نقطة هامة وهي أن الينابيع والنافورات الحارة التي تستمد مياهها من الأمطار ، يتذبذب مستوى الماء الجوفي فيها ، ويختلف مدى انبثاق المياه في عمود أو قنطرة النافورة إلى السطح تبعاً لتذبذب كمية الأمطار الساقطة أو تبعاً لفصل سقوط الأمطار طالما كان منسوب فوهة النافورة أعلى من منسوب مصادر المياه الجوفية . أما إذا كان منسوب فوهة النافورة أقل ارتفاعاً من منسوب مصدر المياه الجوفية ، ففي هذه الحالة يكون صعود المياه من قنطرة النافورة بأثر الانبثاق .

#### ب - أسباب ارتفاع درجة حرارة مياه النافورات الحارة :

على الرغم من أن مصادر مياه بعض النافورات الحارة ترجع إلى

«المياه الجوفية» الباردة، إلا أنه تبعاً لتقلقلها وتسريبها إلى أعماق بعيدة في جوف صخور قشرة الأرض، أو تجمعها فوق صخور نارية ساخنة ترتفع درجة حرارتها قد تتميز كذلك ارتفاع نسبة الكبريتية والمعدنية الذائبة فيها. وعلى سبيل المثال ترتفع درجة حرارة مياه كل من نافورة يلوستون بارك Yellow - stone Park إلى نحو ٢٢٠ ف ومياه نافورة أولد فيثفول Old Faithful إلى نحو ٢٠٠ ف . وتبلغ درجة حرارة ينابيع كهف ماموث Mommoth Hot Springs نحو ١٧٠ ف .



شكل (٩٠) أنواع النافورات الحارة.

١- نافورات قائمة الانبثاق. ب- نافورات متقطعة الانبثاق.

ويعتبر عامل التيارات المساعدة أهم العوامل التي تؤثر في تنظيم درجة حرارة مياه الينابيع . وقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة أسباب ارتفاع حرارة مياه الينابيع الحارة، وقد أوضحت نتائج هذه الدراسات أن مياه نافورة « يلوستون بارك» في الولايات المتحدة الأمريكية تكتسب حرارتها المرتفعة تبعاً لانبثاقها من أعماق تتراوح فيما بين ٣٥٠٠ إلى ٩٠٠٠ قدم تحت سطح الأرض. وقد تبين كذلك أن بعض المياه الجوفية قد تنساب إلى أعماق بعيدة في جوف قشرة الأرض خلال فتحات الشقوق الكبرى (قد

يبلغ طولها عدة آلاف من الأقدام) وبالتالي ترتفع درجة حرارة هذه المياه لاحتكاكها بالصخور الساخنة. وتنفع هذه المياه الجوفية إلى أعلى خلال فتحات الشقوق بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic Pressure أو بواسطة الضغط الناتج عن الغازات تبعاً لبعض التفاعلات الكيميائية Chemical Reaction ، وأذا كانت انبثاق المياه الجوفية خلال قسبة النافورة يظهر بشدة وباستمرار، فقد ينجم عن ذلك تكوين بحيرات صغيرة المساحة Hot Pools تتميز بارتفاع درجة حرارة مياهها.

### رواسب النافورات والينابيع الحارة

تنبثق مع مياه النافورات والينابيع الحارة كمية كبيرة من الغازات كما تحتوي المياه نفسها على نسبة كبيرة من المعادن الذائبة، فإذا تغلغلت المياه الجوفية في كتل صخرية من الريوليت أو في صخور نارية سليكية، فقد تزداد في هذه الحالة نسبة السليكا في المياه الجوفية، كما يحدث ذلك في منطقة « يلوستون بارك » Yellowstone Park Region التي ترتفع في مياه ينابيعها ونافوراتها الحارة نسبة كبيرة من السليكا . أما إذا تغلغلت المياه الجوفية في طبقات من الحجر الجيري ، كما هو الحال في منطقة ينابيع ماموث الحارة Mammoth Hot Spring Area ، فتزداد نسبة كربونات الكالسيوم الذائبة في المياه.

وعند انبثاق المياه إلى سطح الأرض، يتعرض بعضها للتبخر وبعضها الآخر يبرد بالتدرج أو ينساب على شكل نهيرات صغيرة أو يتسرب ثانية إلى جوف الصخر، ومن ثم تتجمع المواد المعدنية المختلفة وينجم عنها ظاهرات جيومورفولوجية إرسابية ثانوية تشكل مناطق النافورات والينابيع الحارة. فقد تتجمع السليكات حول فوهات النافورات والينابيع الحارة على شكل مداخن أو مخروطات إرسابية Geysers Cones يتراوح ارتفاعها من ٥ إلى ١٥ قدماً فوق سطح الأرض المجاورة. وقد تكون بعض الينابيع الكبرى مجموعات هائلة الحجم من المدرجات الإرسابية Terraces (شكل ٩٦) كما هو الحال بالنسبة لينابيع ماموث للحارة في ولاية كنتكي

بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث أتت الرواسب الهائلة إلى تكوين مدرجات نافورية تتألف أساساً من كربونات الكالسيوم. وعندما تتجمع للمياه المتبقية من النافورات والينابيع الحارة إلى السطح وتتجمع في بحيرات صغيرة من مياه ساخنة Hot Pools أو في أحواض مغلفة، فكثيراً ما يحيط هذه المسطحات إطارات وحلقات من الرواسب المختلفة.



شكل (٩٦) مدرجات جيرية في منطقة نافورات حارة.

### أنواع النافورات الحارة ومظاهرها العامة

يمكن تصنيف النافورات الحارة تبعاً لاختلاف نظام إنبثاق المياه منها إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

(أ) مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه في أوقات متقطعة Intermittent or Spasmodic Geyser ومن بين أنواعها نافورة أولد فيثفول Old Faithful

(ب) مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه باستمرار Flowing Geysers ومن أنواعها نافورة « يلوستون بارك » « Yellowstone Park ».

ومن بين أهم العوامل التي تؤثر في طبيعة انبثاق المياه الجوفية في النافورات تتمثل فيما يلي:

- (أ) العلاقة بين منسوب مصدر مياه النافورة ومنسوب فوهتها.
- (ب) كمية المياه المتجمعة في الخزانات الجوفية للنافورة.
- (ج) درجة حرارة المياه الجوفية وكيفية تسخينها.
- (د) حجم الغازات المنحبة داخل خزان النافورة .

فإذا كان منسوب مصدر المياه الجوفية Catchment Area أعلى من فتحة النافورة يساعد ذلك على اندفاع المياه باستمرار. أما إذا كانت فتحة النافورة أعلى منسوباً من مصدر مياهها ، ففي هذه الحالة تنبثق المياه على فترات متقطعة. وعندما تقل كمية المياه الجوفية في خزان النافورة، تصبح قسبة النافورة خالية من المياه، بينما تتفاعل كمية المياه القليلة مع الصخور الساخنة للخزان وتتكون كميات هائلة الحجم من البخار والغازات تساعد بدورها على ازدياد الضغط الهيدروستاتيكي وتبدأ المياه في الارتفاع ثانية إلى أعلى.

وفي بعض الأحيان قد تندفع المياه الساخنة خلال قسبة النافورة ثم تتحول تدريجياً إلى أبخرة وغازات تبعاً لانخفاض قوى الضغط الهيدروستاتيكي الذي لم يستطع أن يقوم بعملية دفع المياه من فوهة النافورة . وعلى ذلك يصبح عمود النافورة عبارة عن عمود من الأبخرة والغازات . وتتمثل هذه الحالة في نافورة « أولي فيثفول Old Faithful » حيث تتحول كمية من المياه تبلغ نحو ٣٠٠٠ برميل إلى أبخرة وغازات في نحو أربع دقائق، وهذا لا تستطيع المياه أن تكمل رحلتها إلى أعلى وأن تنبثق من فوهة النافورة. ولكن كل نحو ساعة من الزمن تتجمع بعض المياه في خزان النافورة ويعتد عامة الضغط الهيدروستاتيكي تبعاً لزيادة الغازات في قسبة النافورة ومن ثم تندفع المياه إلى أعلى لبطء دقائق ثم ينقطع انبثاقها عندما تضعف قوى الضغط ، لتكمل دورتها من جديد.

### التوزيع الجغرافى للنافورات والينابيع الحارة فى العالم

لا يرتبط التوزيع الجغرافى للنافورات بخطوط الطول أو بدوائر العرض بل تنتشر فى كل من المناطق الاستوائية والقطبية على السواء. ومن ثم تتمثل النافورات والينابيع الحارة فى بقاع متناثرة فى كل من السكا وسهيريا، ومرتفعات الأنديز Andes وفنزويلا وبتاجونيا فى أمريكا الجنوبية. كما تتمثل النافورات فى أمريكا الشمالية ومنها منطقة « حدائق يلوستون» Yellowstone Park وتظهر بعض النافورات فى هضبة التبت فى آسيا ، وبعض النافورات للثناثرة فى كل من جزيرة آيسلند، وجزر آزورس . ويمكن القول أن تظهر مناطق النافورات الحارة فى العالم اتساعاً تتمثل فى منطقة نافورات جزيرة آيسلند ومنطقة نافورات « يلوستون بارك » فى الولايات المتحدة الأمريكية.

#### أ - منطقة نافورات آيسلند:

تشغل منطقة النافورات فى جزيرة آيسلند مساحة واسعة تبلغ نحو ٥٠٠٠ ميل مربع . وتعرف « النافورة» فى اللغة الأيسلندية باسم Gusher or Spouter وهى تعد من ظاهرات السطح للآلوة لسكان الجزيرة منذ تعميرها بالسكان ومن أشهر النافورات الكبرى فى آيسلند نافورة شتروكر Stroker . وتبعاً لزيادة كميات المواد الإرسابية المنبثقة مع مياه النافورات فى آيسلند، فقد تميزت نافورات هذه الجزيرة بتكوين عدة ظاهرات جيومورفولوجية إرسابية ثانوية منها المخروطات والمدرجات النافورية. وتغطى الأراضى السهلية للمستنقعية التى تجاور نافورات آيسلند بالطحالب والأعشاب . وقد دلت الدراسات المختلفة على أن المصدر الرئيسى لمياه النافورات فى آيسلند يتمثل فى كل من الأمطار التى تسقط على المرتفعات وبعض المياه المنصهرة من الثلوج ويساعد على تسرب هذه المياه وتغلغلها فى جوف صخور قشرة الأرض بكثرة الشقوق والفواصل فى صخور جزيرة آيسلند.

## ب - منطقة نافورات يلوستون بارك Yellowstone park

تقع منطقة « يلوستون بارك » فى الركن الشمالى الغربى من ولاية وايومنج ويجرى فيها الأجزاء العليا من نهري يلوستون وييج هورن Big Horn وبعض روافد الميسورى الأعلى. وتمثل هذه المنطقة حوضاً جبلياً تحيط به مرتفعات أبسروكا Absaroka Range فى الشرق ومرتفعات جلاتين Gallatin فى الشمال الغربى ومضبة مديسون Madison فى الجنوب الغربى وقد تأثرت صخور هذه المنطقة بحركات صدعية شديدة، ومن ثم ظهرت معظم نافورات يلوستون بارك على طول أسطح الصنوع أو تصاحب فتحات الشقوق والفواصل الكبرى ( هذا بخلاف نافورات إقليم ويمانجو Waimango فى نيوزيلند التى تتكون فى الأقاليم البركانية مصاحبة السدود الرأسية . ونافورات لركانسس فى الولايات المتحدة الأمريكية حيث تنبثق النافورات طبيعياً من الصخور الرملية المسامية المنتنية القعرة)

وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن المصدر الرئيسى لمياه نافورات يلوستون تتمثل فى مياه الأمطار التى تسقط على المرتفعات الجبلية التى تكاد تحيط بالمنطقة من كل جوانب . وتتسرب بعض هذه المياه خلال فتحات الشقوق والفواصل وأسطح الصنوع التى تشكل صخر الحوض. وبعد أن تصل المياه إلى خزائنها الجوفى الطبقي، تتجمع فيه وترتفع درجة حرارتها تبعاً لتأثير الصخور الساخنة، وعلى ذلك تندفع المياه الجوفية إلى أعلى محاولة الوصول إلى سطح الأرض بفعل الضغط الهيدروستاتيكي.

وتتميز بعض أجزاء من جانبى وادى يلوستون الأخنودى بانبثاق كميات كبيرة من الغازات خلال فترات متقطعة. بل يرجح أن أهم العوامل التى ساهمت فى تشكيل صخور جانبى هذا الوادى بالألوان المتعددة تلك الغازات المنبثقة من جوف الصخور والتى ساعدت بدورها على حدوث التجوية الكيميائية لأسطح الصخور. ويتمثل فى منطقة يلوستون بارك نحو ٢٠٠٠ ينبوع حار، ونحو ١٧٠ نافورة حارة، ومن بينها أكثر من

٢٠ نافورة . وتتدفق مياه نافورة « أولد فيثفول Old Faithful » إلى نحو ١٥٠ قدم فوق سطح الأرض المجاورة.

ولا يتوقف فعل المياه الجوفية على ظهورها بأشكال مختلفة وتكوينها ظاهرات جيومورفولوجية ثانوية فوق سطح الأرض، بل تعمل كذلك على نشوء ظاهرات جيومورفولوجية في جوف صخور قشرة الأرض كذلك. ويزداد أثر فعل المياه الجوفية خاصة إذا تغلغلت في صخور عالية السمك من الطبقات الجيرية المسامية اللينة الرخوة كما هو الحال في أقاليم الكارست الجيرية.

## الفصل السابع القوى الداخلية التدريجية البطيئة

أولاً ، الالتواءات - حركات الثنى والطي

تتعرض صفوح قشرة الأرض لحركات رفع تكتونية بطيئة تتم في صورة تدريجية خلال فترات طويلة من التاريخ الجيولوجي . ويعزى أسباب هذه الحركات إلى الاضطرابات والتغيرات التي تحدث في باطن الأرض . وعلى الرغم من أن حركات الرفع التكتونية تؤثر في جميع أنواع الصخور وتؤدي إلى تجمعها إلا أن الكتل النارية الصخرية عند تأثرها بمثل هذه الحركات تندفع إلى أعلى وتظهر فوق سطح الأرض على شكل قباب وكتل جبلية نارية ، أما المناطق التي تتألف من صفوح رسوبية ومتحولة قديمة العمر الجيولوجي (أي منذ العصر الكمبري وأصبحت دروع قارية شديدة الصلابة ) فمن النادر أن تتأثر بحوث حركات الثنى والطي تبعاً لصلابة الطبقات الصخرية ، ومن ثم عندما تتأثر بحركات الرفع التكتونية تتشكل بمجموعات مختلفة من الصدوع .

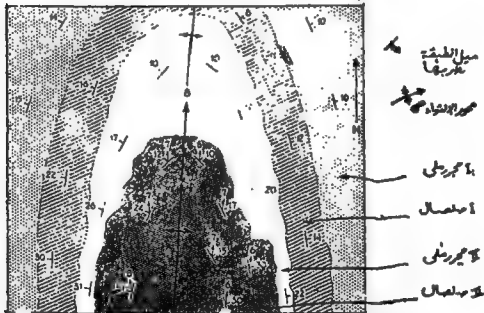
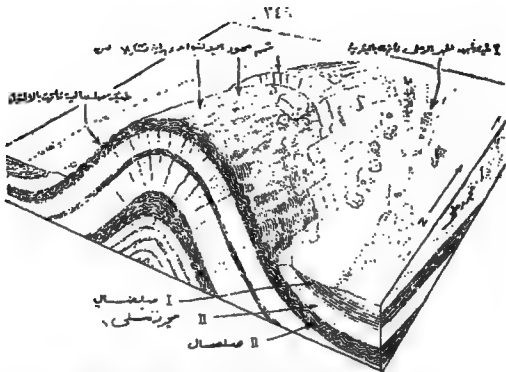
أما الطبقات الصخرية الرسوبية الحديثة العمر الجيولوجي والهائلة السمك فهذه تعتبر أنسب أنواع الصخور لإظهار تأثير التمعج وحركات الثنى والطي في تشكيل صفوح قشرة الأرض وبفعل هذه الحركات التكتونية تنثنى الطبقات الصخرية وتتشكل بأنماط مختلفة تبعاً لخصائص الحركات التكتونية نفسها ، ومدى اختلاف التركيب الصخري .

وإذا كانت الحركات التكتونية عبارة عن حركات رفع بسيطة أو شديدة ولكن في جانب واحد في الصخور قد ينتج عن ذلك ميل جزء من الطبقات إلى أعلى ، ويتألف سطح الأرض في هذه الحالة من طبقات صخرية ذات ميل شديد في جانب واحد Monocline . أما إذا كانت الحركات التكتونية عبارة عن حركات رفع تدريجية تؤثر في القسم الأوسط من الطبقات الصخرية ، فتنتن الطبقات الصخرية في هذه الحالة على شكل ثنيات محدبة Anticlines وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة ثنيات مقعرة Synclines .

وإذا كانت حركات الرفع التكتونية قد استمر حدوثها ببطء وبصورة تدريجية وبمعدل بسيط فينتج عن ذلك تكوين ثنيات محدبة هائلة الاتساع وتشغل مساحات واسعة جدا . ويتميز الميل على جوانب هذه الثنيات بكونه بسيطا وغير محسوس . وأمثلة ذلك الثنيات الصخرية المحدبة في إقليم سينسيناتى وثنيات سان رافائيل San Rafael المحدبة في ولاية يوتاه ، وثنيات زوني Zuni المحدبة في شمال غرب المكسيك ، وثنيات يلج والمغارة المحدبة في شمال شبه جزيرة سيناء . وتتميز الطبقات الصخرية في كل هذه الثنيات المحدبة بميل تدريجي بسيط جدا بحيث تبدو للمعين المجردة وكأنها طبقات أفقية الميل . ولكن أهم ما يدل على أنها ثنيات صخرية محدبة أن أواسطها تتركب من طبقات صخرية قديمة العمر نسبيا تبعا لتعرية الطبقات الصخرية العلوية الأحدث عمرا ، وكلما ابتعدنا عن قلب الثنية المحدبة واتجهنا صوب أطرافها نشاهد الطبقات الصخرية الأحدث عمرا ( شكل ٩٧ ) .

لما إذا كانت الحركات التكتونية شديدة بحيث يمكنها رفع الطبقات الصخرية إلى أعلى بمقدار كبير ، فقد ينجم عن ذلك تكوين ثنيات صخرية محدبة هائلة الارتفاع فوق سطح الأرض ، ومع ذلك تكون محدودة المساحة والامتداد تبعا لشدة ميل الطبقات على جوانب الثنيات المحدبة وقصر هذه الجوانب ، كما هو الحال بالنسبة لثنيات مرتفعات الباروك المحدبة في لبنان وجبل حفيت في دولة الإمارات العربية المتحدة .

ومن النادر أن تظهر الثنيات المحدبة على سطح الأرض كما هي كاملة المظهر دون أن يشوبها أى تغيير ، ذلك لأنه عند رفع الطبقات الصخرية من أسفل إلى أعلى وتكوين الثنيات المحدبة بأشكالها المختلفة تتكون في الطبقات الصخرية مناطق ضعف جيولوجية جديدة - Geological Weakness . وتتمثل هذه المناطق في أعالي الثنيات المحدبة وعند قممها Crests . وعندما تعرض أعالي الثنيات المحدبة لفعل التعرية تتآكل صخورها اللينة وتنحج التعرية المائية في شق الطبقات الصخرية وإزالة الكثير من تكويناتها ، ومن ثم قد تظهر منطقة أعالي الثنيات المحدبة فوق سطح



شكل (٩٧) تمريه أعالي الثنيات للحدبة ويلاحظ أن الصخور القديمة

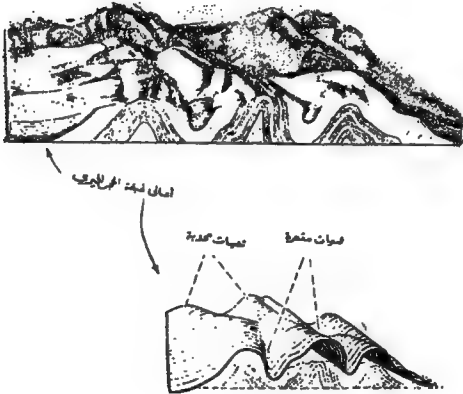
تظهر في أواسط الثنية المحدبة بعد تمريه الصخور الأحدث عمرا

والتي تشاهد بقاياها على جانبي الثنية - ولاحظ توزيع طبقات

الصخور والمتنية على الخريطة الجيولوجية واتجاه مهل الطبقات .

الأرض إما على شكل سهول فيضية نهرية أو أودية لأنهار عميقة نشيطة (شكل ٩٨) .

وعند رسم قطاع جيولوجي لارتفاعات الأبالاش في الولايات المتحدة الأمريكية يتضح أن مناطق الثنيات المحدبة كانت تختفى من فوق سطح الأرض وأصبحت عبارة عن لمواض نهرية نتيجة لتعرضها للفعل التعرية خلال فترات زمنية جيولوجية طويلة .



شكل (٩٨) الثنية الصخرية المحدبة نظريا وكأنها لم تتعرض للفعل التعرية والمظهر الحقيقي للثنية المحدبة بعد تعرضها للفعل عوامل التعرية .

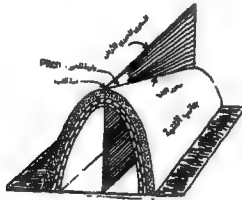
وعند رسم الشكل الأصلي لطبقات صخور مرتفعات الأبلش - ركنها لم تتعرض إطلاقاً لفعل عوامل التعرية المختلفة - لاتدح ان االى مرتفعات الأبلش كانت تتمثل ( نظرياً ) على منسوب يزيد عن منسوبها الحالي بنحو ١٥٠٠ متر . ولكن من الخطأ اعتبار أن المرتفعات الجبلية عند نشأتها كانت أعلى ارتفاعاً بكثير جداً عما تبدو به اليوم ، ذلك لأن الدراسات الجيولوجية أكدت بأنه في الوقت الذي ترتفع فيه اجزاء سطح الأرض ، ارتفاعاً تدريجياً بسيطاً ، تعمل عوامل التعرية على نحت وإزالة اجزاء من تلك الطبقات المرفوعة . أو بمعنى آخر أن فعل عوامل التعرية لا يبدأ عندما تنتهى حركة الرفع التكتونية فقط ، بل كذلك يتم فعل عوامل التعرية في نفس اللحظة التي تظهر فيه الطبقات الصخرية عند سطح الأرض إبان تعرضها لعمليات الرفع التكتونية . وهكذا تعمل الحركات الأخيرة على ارتفاع منسوب اجزاء من سطح الأرض في حين تعمل عوامل التعرية في نفس الوقت على تخفيض منسوب هذه الاجزاء المرفوعة .

### عناصر الإنواء - الثنية المحدبة :

على الرغم من تعدد أشكال الثنيات المحدبة إلا أن كلا منها يتألف من عدة عناصر أو اجزاء ثابتة . فعندما تتثنى الطبقات الصخرية على شكل ثنية محدبة ، يصبح لها جانبين تعمل فيها الصخور في اتجاهين متضادين ، ويطلق على كل جانب منها اسم جانب الثنية أو جناح الطية Limb . وتعرف أعلى نقطة في الثنية المحدبة والتي تعتبر منطقة فاصلة بين جانبي الثنية باسم قمة للثنية Crest ( شكل ٩٩ ) أما الخط الذي ينصف الثنية فيعرف باسم محور الإنواء Axial plane or Anticlinal axis وليس من الضروري أن يكون المحور عمودياً بل كثيراً ما يكون مائلاً أو شبه أفقى (١) .

وتتنوع إشكال الثنيات المحدبة وفقاً لدرجة ميل المحور . فإذا كان المحور عمودياً (٩٠) يؤدي ذلك الى تكوين ثنيات محدبة رأسية أما إذا كانت زاوية المحور أقل أو أكثر من الزاوية القائمة في حدود عشرين درجة ( أى

٧٠ أو ١١٠) فيؤدي ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المائلة البسيطة . أما إذا كان الفرق في ميل المحور عن الزاوية القائمة كبيراً ( ٢٠ أو ١٥٠ ) فيؤدي ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المقلوبة . وإذا كان محور الثنية المحدبة شبه لافقى ( أى يكون مع خط سطح الأرض الأفقى زاوية حادة جداً أو منفرجة جداً ) فيؤدي ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة النائمة أو المضطجعة ( شكل ١٠٠ ) .



شكل (١١) عناصر الالتواء ( الثنية المحدبة )



شكل (١٠٠) نماذج مختلفة للثنيات محدبة في مرتفعات الألب تبعا لتدور ميل المحور .

ومن النادر أن تكون جميع أجزاء الثنية المحدبة متساوية في الشكل والمنسوب فوق سطح الأرض ، بل كثيرا ما تكون الثنية المحدبة أعلى ارتفاعا ومنسوبها في جانب عنها في جانب آخر . ومن ثم يميل سطح المحور المنصف للثنية المحدبة ميلا بسيطا أو شديدا من قمة الثنية الى قاع مستوى الثنية . ويطلق على الزاوية المحصورة بين هذا المستوى المائل ( مستوى خط قمة الثنية ) والمستوى الأفقي للمحور من عند نقطة قمة الثنية المحدبة اسم زاوية مستوى المحور <sup>(١)</sup> Pitch .

ويحدد طول الثنية المحدبة بطول المسافة التي تمتد فيها الثنية المحدبة على مضرب الطبقات . أما عرض الثنية المحدبة فهو عبارة عن المسافة التي تشغلها الطبقات المتثنية في اتجاه ميل الطبقات .

وبالنسبة للثنية المقعرة Syncline . فهي تشبه الثنية المحدبة إلا أنها مقلوبة الشكل ( شكل ١٠١ ) . ويطلق تعبير قاع الثنية المقعرة على



شكل (١٠١) ثنية مقعرة في مرتفعات البرتا - كندا

النقطة التي تمثل أقل منسوب لأسطح طبقات الثنية المقعرة ، وأما الخط الذي ينصف المقعرة الى قسمين أو جانبين متساويين فيعرف باسم محور الثنية المقعرة Axis of the syncline وليس من الضروري كذلك أن يكون هذا المحور عموديا .

(1) Longwell, G., R. Knopf, and Flint R. F., Outline of physical Geology , P.251

## أشكال الثنيات أو الطيات

### Kinds of folds

يتضح مما سبق أن الثنيات أو الطيات الصخرية Folds قد تكون ثنيات محدبة Anticlines ، وفيها تنتثنى الطبقات الصخرية إلى أعلى وتميل الصخور خارج محور الثنية المحدبة ، ومن ثم يكون اتجاه ميل الطبقات على جانبي الثنية المحدبة في اتجاهين متضادين . كما قد تكون ثنيات مقعرة Synclines وفيها تنتثنى الطبقات الصخرية إلى أسفل وتميل الصخور إلى الداخل نحو محور الثنية المقعرة ومن ثم يكون اتجاه ميل الطبقات على جانبي الثنية للمقعرة في اتجاهين متقابلين . ويمكن تصنيف الثنيات للمحدبة والمقعرة إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - الثنيات المحدبة والمقعرة المتماثلة Symmetrical وفيها تكون زوايا ميل الطبقات الصخرية على جانبي محور الثنية المحدبة أو المقعرة متشابهة إلى حد كبير ، كما أنه يجب أن تكون جوانب الثنيات متساوية في الطول ومتشابهة في الشكل العام . وفي هذه الحالة ينصف المحور الثنية المحدبة أو المقعرة إلى قسمين متساويين ومتشابهين ( شكل ١٠٢ ) .

ب - الثنيات المحدبة والمقعرة غير المتماثلة Assymetrical وفيها يختلف مقدار زاوية ميل الطبقات الصخرية على جانبي محور الثنيات المحدبة والمقعرة . وفي هذه الحالة لا تتساوى جوانب الثنية المحدبة أو للمقعرة في الطول أو في الشكل ، كما لا ينصف محور الثنيات المحدبة أو المقعرة أي منها إلى قسمين متساويين .



شكل (١٠٢) ثنية محدبة وأخرى مقعرة متماثلتان

وحيث إن الثنيات المحدبة Anticline هي أهم مظهر من مظاهر الثنية التكتونية ويعد تمثيلها فوق سطح الأرض أكثر شيوعاً من غيرها من الثنيات الأخرى ، لذا ينبغي أن نشير إلى أشكالها وخصائصها العامة بشيء من التفصيل. وعلى أساس اختلاف درجة ميل محور الثنية المحدب وخصائصها العامة يقسم الباحثون الثنيات المحدبة إلى المجموعات الآتية :

#### ١ - ثنية وحيدة الجانب . Monocline

تتكون محلياً في بعض أجزاء من المناطق الالتوائية . وتتميز الثنية المحدبة هنا بأن لها جانب واحد فقط One limb أما الجانب الآخر فيصبح غير واضح وتكاد فيه الطبقات اتقيه المائل ( شكل ١٠٣ ) .

١- وحيدة الجانب

ب- متعائلة

ج- غير متعائلة

د- مقبوضة

هـ- دائمة أو مضطجعة

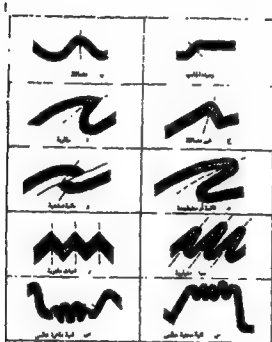
و- دائمة صاعدة

ز- ثنيات متوازية

ح- ثنيات ملتوية

ص - ثنية محدبة كبرى

س - ثنية مقعرة كبرى



( شكل ١٠٣ ) بعض أشكال الثنيات الالتوائية .

## ٢ - ثنية مقلوبة : Overturned

وتتمثل فى المناطق التى تعرضت لحركات التوائية شديدة نسبيا . ويميز محور الثنية فى هذه الحالة بميله بنحو ٦٠ أقل أو أكثر عن الخط العمودى . كما يلاحظ بأن أغلب الثنيات المقلوبة نادرا ما تكون متمائلة ، وكثيرا ما يكون ميل الطبقات على جانب من الثنية أشد بكثير منه على الجانب الآخر . ( شكل ١٠٣ ) .

## ٣ - ثنية نائمة أو مضطجة : Recumbent Fold

واهم ما يميزها زيادة درجة ميل المحور عن الخط العمودى ومن ثم يكاد يكون أفقيا ، وتزيد أو تقل درجة ميل المحور بنحو ٧٠ إلى ٨٠ عن الزاوية القائمة . وهكذا يتضح أن الثنية المحدبة تنثنى وتستلقى أو « تستند وتنام » عل غيرها من الطبقات الصخرية الأخرى ، ومن هنا جاءت تسميتها بالثنيات النائمة أو المضطجة أو المستلقية . ولا تحدث مثل هذه الثنيات إلا فى المناطق التى تعرضت لحركات رفع تكتونية شديدة ، والتى تقود إلى بناء الجبال الكبرى كما هو الحال فى مرتفعات الهيمالايا والروكى والألب . ويطلق على الثنيات النائمة فى مرتفعات الألب الفرنسية اسم « النابية » Nappe وهى من أهم الخصائص الجيولوجية فى تركيب الطبقات لمرتفعات الألب . ( شكل ١٠٤ ) .



شكل (١٠٤) ثنية نائمة أو مضطجة فى الصخور الجيرية العليا بمرتفعات الألب إلى الجنوب من بحيرة لوسرن - سويسرة .

#### ٤ - ثنية نائمة صدعية : Over-thrust fold

وهي تشبه الثنية النائمة السابقة غير أنه نتيجة لشدة ميل -  
الثنية عن الخط العمودي تتعرض الطبقات الصخرية لحركات من صد  
مندفعة Over-thrust faults وتتنحرج الطبقات بشدة على طول أس  
الصدوع ، ومن ثم تتكون ثنيات نائمة صدعية . وتمثل هذه المجموعات  
من الثنيات في المناطق الضعيفة جيولوجيا والتي تتعرض لحركات رفع  
تكتونية عنيفة كما هو الحال في مناطق المرتفعات الكبرى بجبال الأنڤ  
والهملايا والروكي .

#### ٥ - الثنيات المتوازية والمتوازية :

في الطبقات الصخرية التي تعرضت لحركات الرفع التكتونية قد  
تتكون مجموعات متجاورة من الثنيات المحدبة تنفصل عن بعضها البعض  
بواسطة الثنيات المقعرة وقد تكون هذه الثنيات المحدبة رأسية الشكل أي  
أن محاورها تكون عمودية تماما ، وتتشابه جوانب الثنيات من حيث  
الشكل ومقدار زاوية ميل الطبقات ، وتشبه الثنية المحدبة هنا الشكل  
الهرمي ، وتعرف مثل هذه المجموعة من الثنيات باسم الثنيات المتوازية  
Zigzag fold (شكل ١٠٥)

وقد تظهر أيضا محاور الثنيات المحدبة المتوازية موازية لبعضها  
البعض الآخر ، إلا أن الثنيات المحدبة قد تكون مائلة ، ومثل هذه المجموعة  
تعرف باسم الثنيات المتوازية Parallel Fold

#### ٦ - الثنيات المحدبة والمقعرة الكبرى :

عندما تلح ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ثانوية ومتوسطة الحجم بأحد  
نطاق ثنية محدبة كبرى فتعرف الأخيرة باسم Anticlinorium أما إذا  
تمثلت ثنيات محدبة وأخرى مقعرة متوسطة الحجم بأحد نطاق ثنية  
مقعرة كبرى فتعرف الأخيرة باسم Synclinorium ، ولا تتمثل هذه الحالة  
إلا في المرتفعات الكبرى التي تعرضت لحركات رفع عنيفة خلال عدة  
مراحل متعاقبة وفي العقد الجيولوجية .



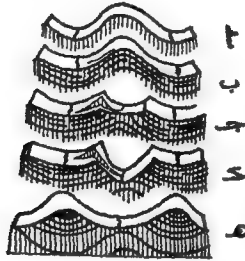
شكل (١٠٥) ثنيات ملتوية Zigzag ناشئة فوق بعضها في جرف بحري بجوار ساحل مدينة سانت جان دي لوز - فرنسا .

#### الثنيات وعوامل التعرية : Folds and Erosion :

إذا ظهرت الثنيات للتلوية المحدبة والمقعرة على سطح الأرض نتيجة لحركات الرفع الشديدة سرعان ما تتعرض بدورها للفعل عوامل التعرية المختلفة . وتساعد هذه العوامل الأخيرة على تشكيل المظهر التضاريسي لهذه الثنيات وذلك نتيجة لاكتشافها مناطق الضعف الجيولوجي في الصخور وإزالة الطبقات اللينة ، وتفتت الصخور الصلبة وإزالتها هي الأخرى تدريجياً .

وعلى ذلك تتعرض قمم وأعالى الثنيات المحدبة للفعل عوامل التعرية التي كثيراً ما تكون فيها أنهاراً تالية Subsequent تمتد مع اتجاه مغرب الطبقات وعلى طول مستوى خط قمة الثنية المحدبة . ويتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى فتأكل القمة ليحل محلها منطقة خانقية أو منطقة حوضية نهريه . وفى مرحلة أخرى ونتيجة لاستمرار عمليات النحت وإزالة الصخور فى منطقة رأس الثنية المحدبة تتحول الأخيرة إلى منطقة منخفضة المنسوب وحوضية ومقعرة السطح ، فى حين تتحول الثنيات الصحيرية الأصلية المقعرة إلى مناطق هضبية مرتفعة المنسوب نسبياً تبعاً لتجمع الرواسب فيها ( شكل ١٦ )

يتضح من هذا العرض أن السطح الحالي لمثل هذه المناطق أصبح يختلف عن السطح الأصلي لمنطقة الثنيات المحدبة قبل أن تتعرض بشدة لفعل عوامل التآكلية . وفي هذه المرحلة الأخيرة التي تتكون



شكل (١٠٦) انقلاب مظهر سطح الأرض في مناطق الثنيات الالتوائية

الأحواض العميقة في منطقة من الصخور ذات ثنيات محدبة ، وأن تتكون الهضاب المرتفعة في منطقة من الصخور ذات ثنيات مقعرة يطلق عليها اسم مرحلة انقلاب السطح Inversion of relief ولا تشاهد مثل هذه الحالة إلا في المناطق الجبلية القديمة جيولوجيا ( التي تأثرت بالحركات التكتونية الكارنية والكاليدونية والهرسينية ) ، والتي تعرضت بدورها لفترة طويلة من الزمن الجيولوجي لفعل عوامل لتآكلية . أما المناطق الالتوائية الحديثة ( مثل الحركات الألبية الميوسينية ) فمن النادر أن تشاهد فيها ظاهرة انقلاب السطح أو عدم توافق مظهر سطح الأرض بالنسبة للتركيب الجيولوجي ، ذلك لأنه لم يمر الوقت اللازم لكي تنجح عوامل التآكلية في تغيير شكل سطح الأرض وانقلاب طوابعه <sup>(١)</sup> .

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

حسن أبو العينين ، اصول مورفولوجيا ، الطبعة الثانية - دار المعارف - الإسكندرية - ١٩٦٨ -

الطبعة الثانية مقرر ( ١٩٩٥ ) .

## ثانيا - الصدوع (الانكسارات)

يقصد بتعبير الصدوع Faults حدوث كسر في الطبقات الصخرية بحيث تصبح زحزحة بعض أجزاء الطبقات رأسيا أو أفقيا . وتتأثر هذه الحركات الصدمية التكتونية بفعل قوى الشد والضغط المختلفة التي تتعرض لها صخور قشرة الأرض . وقد استخدم الكتاب مرادفات كثيرة تشير إلى نفس مدلول كلمة الصدوع . فقد استخدم الأستاذ محمد متولى (١) ، تعبیر « الانكسارات » أو « الميوب » بينما يستعمل الجيولوجيون وخاصة حسن صادق (٢) ويحيى أنور (٣) ، ولخضر موسى (٤) تعبیر « الفوالق » .

ومما يؤخذ على تعبیر « الانكسارات » أنه لا يؤكد حدوث زحزحة أو اختلاف في منسوب أو مستوى الطبقات التي انكسرت . ولكن حيث استخدم هذا التعبير منذ فترة طويلة ، وأصبح استخدامه شائعا في كثير من الدراسات الجغرافية والجيولوجية ، فليس من الخطأ الإشارة إليه لكي يرمز إلى نفس معنى تعبیر « الصدوع » . « صدوع » مفرد « صدع » ، ويقصد بذلك تعرض الطبقة الصخرية لانكسار مصحوب بزحزحة واختلاف في منسوب أو مستوى الطبقات ويطلق على الحركة نفسها اسم حركة الصدع Faulting كما يمكن استخدام صفة من اسم الصدع كأن نقول مثلا حافة صدمية Fault Scarp ، أي حافة صخرية تكونت أساسا بفعل الصدع . وقد استخدم الكاتب هذه المصطلحات الأخيرة منذ عام ١٩٦٦ (٥) .

### أجزاء الصدع وعناصره :

إذا تعرضت طبقة ما من الصخور حركات الصدع ، وتزحزحت

(١) محمد متولى موسى « وجه الأرض » القاهرة ١٩٥٥ - ص ٦٦ .

(٢) حسن صادق « الجيولوجيا » القاهرة ١٩٦٩ - ص ١٥٩ .

(٣) يحيى محمد أنور ومحمد وكثيرين « الجيولوجيا الهندسية » - القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .

(٤) لخضر موسى وكثيرين « الجيولوجيا الهندسية » - القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .

(٥) حسن أبو العينين « أصول الجيومورفولوجيا » - دار المعارف - الاسكندرية ١٩٦٦ - الطبعة الحادية عشرة ١٩٩٥ .



د - مرمى الصدع : Throw of Fault ويقصد بذلك مقدار الانتقال الرأسى لأى طبقة صدعية على جانبى الصدع . وينبغى أن يكون مقياس مرمى الصدع عموديا على اتجاه الطبقات .

هـ - الزحزحة الجانبية : Lateral Shift or Heave . ويقصد بذلك تحديد مقدار الزحزحة الأفقية على طول مضرب الطبقات وينبغى أن يكون قياس الزحزحة الجانبية عموديا على مضرب الصدع .

و - الزحزحة الكليّة : Slip ، ويشير هذا التعبير الى المسافة الكلية التى تتحركها أى طبقة على سطح الصدع .

### أنواع الصدوع

تحتج إن أهم ما يميز الحركات الصدعية هو كيفية زحزحة أجزاء الطبقات أفقيا أو رأسيا على طول الصدوع ، فقد اعتبر الجيولوجيون لاختلاف نوع الحركات المؤدية الى تكوين الصدوع وطبيعة اتجاه الطبقات الصخرية وزحزحتها على طول اسطح الصدوع عاملين رئيسيين عند تصنيف الصدوع الى أشكال مختلفة . ووفقا لذلك يمكن أن نميز الصدوع الآتية :

#### أ - الصدع العادى البسيط : Normal Fault

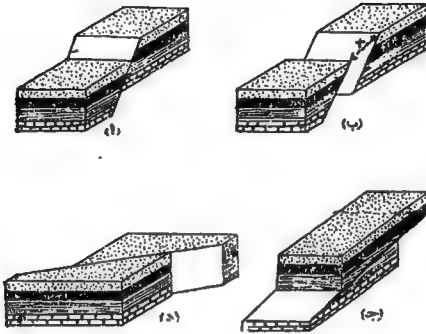
ينتج أساسا عن عمليات شد الطبقات الصخرية Tension أكثر من تكوين الصدع بفعل الضغط Compression ومن ثم قد يعرف باسم صدع الشد Tension Fault . ويتميز الصدع العادى بأن اتجاه ميل الصدع يتفق مع اتجاه الرمية . وتتراوح زاوية سطح الصدع فى هذه الحالة من ٤٥° الى ٩٠° . ونتيجة لرمي الطبقات الى أسفل فإن الحائط العلوى ينخفض منسوبه عن الحائط الأساسى أو الأسفل (شكل ١٠٨) .



شكل (١٠٨) صدع عادي بسيط في الطبقات الجصية في لاثارك شير بانجلترا .

#### ب - الصدع العكسي : Reverse or Thrust Fault

ينتج هذا النوع من الصدوع نتيجة لعمليات الضغط أكثر من عمليات الشد . ويتميز هذا الصدع بأن زاوية سطح الصدع حادة جداً ، وتتراوح من المستوى الأفقي حتى زاوية قدرها ٤٥° أو أقل . ومن ثم يصاحب هذا النوع من الصدوع مراحل تكوين الشقوق المصدية النائمة أو للمنطجة . ومن خصائص الصدع العكسي أن ميل سطح الصدع يكون عكس اتجاه الطبقات التي رُميت إلى أسفل . ( شكل ١٠٩ ) .

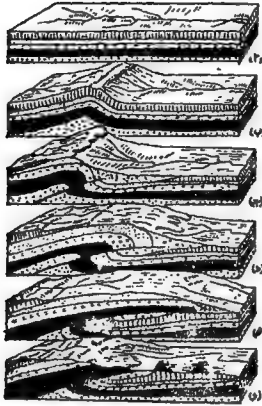


شكل (١٠٩) بعض أنواع الصدوع

- ١- صدع عادي بسيط ب - صدع عادي بسيط مع زحزحة مائلة للطبقات .  
ج - صدع عكسي . د - صدع جانبي أو أفقي .

ولقد وصف الأستاذ لونغويل C. R. Longwell<sup>(١)</sup> مراحل تكوين الصدوع العكسية في عدة أشكال تصويرية . ففي شكل ١١٠ أ يتضح أن الطبقات الصخرية لم تتأثر بعد بحركات تكتونية ثم في شكل ١١٠ ب ، يتضح أن عمليات الضغط الجانبي أدت إلى تكوين ثنية محدبة في الصخور . أما في مرحلة جـ فإن الثنية الناعمة تأثرت بحدوث الصدوع وتكونت الصدوع العكسية .

(1) Longwell , C. R. and others (Outlines of physical geology ) N. Y. (1947) P.312.



شكل (١١٠) مراحل تكوين الصدوع العكسية تبعا لدراسات

الأستاذ C. R. Longwell لونغويل

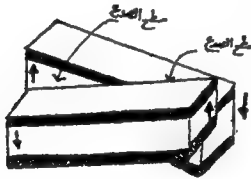
وفي مرحلة د ، يلاحظ أن الطبقات تستمر في زحزحتها على طول سطح الصدع ، وتتباعد أجزاء الطبقة الواحدة عن بعضها البعض ويتأثر سطح الأرض في كل مرة بفعل عوامل التعرية المختلفة . أما في مرحلة هـ فيصل الصدع العكسي إلى قمة فترات نموه ثم في مرحلة متأخرة يزداد تشكيل سطح الأرض بفعل عوامل التعرية التي تنحط المحدثات بحيث لا يتبقى منها في النهاية سوى جبال انفرادية منعزلة ، وترسب في المقعرات (شكل ١١٠ و) .

### جـ - الصدع الأفقى أو الجانبي : Lateral or Tear Fault

يتكون نتيجة لحركات شد الطبقات على طول اتجاه خط الظهور أو مضرب الطبقات . ومن ثم يطلق على هذا النوع من الصدوع اسم . Strike Slip Fault or Transcurrent . وتصاحب الصدوع الأفقية الثنيات النائمة المضطجة والمعروفة باسم النابية Nappes . وفى هذه الحالة لا ترمى الطبقات إلى أعلى أو إلى أسفل ولكن تنزحزح على طول مضرب الطبقات

### د - الصدوع الدورانية : Rotational Faults

يحدث هذا النوع من الصدوع عند تأثر بعض الطبقات بالصدوع بحيث تتعرض أجزاء من الطبقة للرمى إلى أعلى وتهبط أجزاء أخرى منها إلى أسفل (شكل ١١١) .



شكل (١١١) الصدوع الدورانية حيث إن جزء من الطبقة ألقى ورمى إلى أعلى يرتفع إلى أعلى

وجزء آخر منها يهبط إلى أسفل ، وتحدث نفس العملية فى الطبقة التى رمت إلى أسفل .

ونتيجة لحدوث الصدوع وتنزحزح الطبقات قد يؤدي ذلك إلى تكرار ظهور أو حدوث الطبقة الواحدة أو اختفاء جزء منها . فإذا كان الصدوع قد حدث على طول مضرب الطبقات ( شكل ١١٢ - ١ ) فقد يؤدي ذلك إلى تكرار حدوث الطبقة الواحدة بالقرب من منطقة سطح الصدع . وفى بعض الأحيان الأخرى قد تختفى لجزء من الطبقة الواحدة إذا رمت الطبقات إلى أسفل فى حالة الصدوع العكسية (شكل ١١٢ - ٢) . وكثيرا ما تتكرر

الطبقات كذلك على طول أسطح الصدوع الدورانية ( شكل ١١٢ - ٣ ) ، وفي حالة إذا قطع سطح الصدع الطبقات الصخرية في اتجاه مائل على ميل الطبقات . ( شكل ١١٢ - ٤ ) .

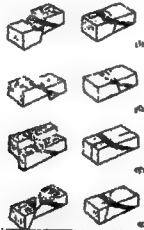
وعلى أساس اختلاف اشكال مجموعات معينة متجاورة من الصدوع وتجاور عدة أسطح صدوع مع بعضهما البعض ، أو أنها تكون جميعا ظاهرة بارزة على سطح الأرض ، يميز الجيولوجيون مجموعات الصدوع المركبة الآتية :

#### أ - الصدوع السلمية : Step Faults

إذا كانت أسطح الصدوع العادية المتجاورة متوازية ورمياتها في اتجاه واحد ، فيزيد ذلك إلى رمى الطبقات إلى أسفل على شكل مصاطب أو مدرجات سلمية ، ويطلق على مثل هذا النوع من الصدوع اسم الصدوع السلمية شكل (١١٣) .

#### ب - الصدوع المكونة للظهور الصدعية : Horsts

وهي عبارة عن صدوع مركبة تحدث في كتلة ضخمة من الطبقات الصخرية ، وتؤدي إلى رفع القسم الأوسط منها ، ويروزه بمنسوب مرتفع فوق أجزاء سطح الأرض للجاورة . ويطلق على تلك الكتل الصخرية الصدعية البارزة اسم الظهور هورست Horst ) . ويتميز الجوانب الحاشطية للظهور الصدعي بشدة انحدارها ، وانسقال جوانبها ( شكل ١١٣ ب ) .



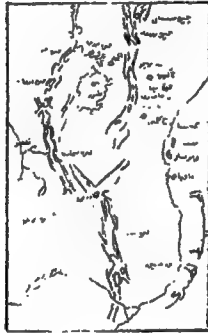
شكل (١١٣) أ - الصدوع في تكرار للطبقة الواحدة أو اختلاف جزء منها . خاصة بعد تعرضها

لعمل عوامل التآكل ويلاحظ تكرار الطبقات في الحالات رقم ١ ، ٣ ، ٤ أما في حالة ٢ ،

تختلف الطبقات بعد انزلاتها بفعل عوامل التآكلية .



بحيرة نياسا ، وعند القسم الشمالى من البحيرة بالقرب من جبل  
رونجوى يتفرع الأخدود الصدعى الى فرعين هما :  
١- الفرع الغربى وتقع فى حوضه الصدعى الهابط مجموعة من  
البحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات تنجانيقا وكيلو وانوارد  
والبرت . ( شكل ١١٤ ) .



شكل (١١٤) جزء من الأخدود الصدعى الافريقى العظيم فى مضبة البحيرات الأفريقية  
بـ الفرع الشرقى ويقع فى لمواضع وأغواره الصدعية عديدة من  
الظواهر والبحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات آياسى Byasi  
وناتورون وماجاوى ونيفاشا وبارينجو على الجانب الشرقى لمضبة  
البحيرات . ثم تشغل أغوار هذا الأخدود العظيم بحيرات رودلف وستيفانى  
وبعض البحيرات الصغيرة جنوب آديس أبابا بالحيشة ، وبعدها يقع كل

البحر الأحمر في الحوض الصدعي العظيم لهذا الأخنود . كما تمتد إبعاد  
الأخنود شمالا لتضم غور نهر الأردن والحوض الصدعي لسهل البقاع  
( شكل ١١٥ ) .



( شكل ١١٥ ) جزء من الأخنود الصدعي الأفريقي في قسمه الشمالي .

ومن ثم يمكن القول أن أظهر أمثلة الأغوار الصدعية الكبرى في العالم  
أغوار الأخنود الأفريقي العظيم في شرق إفريقيا وحوض نهر الأردن  
وامتداده في سهل البقاع . هذا إلى جانب أغوار حوض وادي ديث Death  
Valley في أمريكا الشمالية وغور الرين الصدعي The Rhine graben ومن  
بين نماذج أمثلة الضهور الهضبية الصدعية تلك التي تتمثل في ضهور  
مرتفعات الفوج إلى الغرب من غور الرين الصدعي ، والغابة السوداء إلى  
الشرقي منه ، وكذلك هضبة فلسطين وهضبة الأردن الصدعيتين .

وتحسن الإشارة إلى ملحوظة مهمة ، وهي أن كلا من الأغوار  
والضهور الصدعية أن كانت قديمة العمر الجيولوجي وتعرضت لفترة

(١) للدراسة التفصيلية عن الظواهر الجيومورفولوجية التي تتعلق بالصدوع راجع :  
حسن أبو المينين ( أصول الجيومورفولوجيا ) الإسكندرية - ١٩٦٦ ص - ١٥٧ .  
١٨٥ . الطبعة الحادية عشرة - الإسكندرية ( ١٩٩٥ ) .

طويلة لفعل عوامل التعرية ، فقد يؤدي ذلك الى تغيير أشكال السطح بل وانقلاب مظهره العام . وهكذا تصبح الأغوار الصدعية عبارة عن مناطق هضبية مرتفعة فى حين تتآكل الطبقات الصخرية المكونة للضهور الصدعية وتصبح الأخيرة فى النهاية على شكل مناطق حوضية منخفضة ، ويطلق على هذه الظاهرة كذلك تعبير انقلاب السطح <sup>(١)</sup> Inversion of relief . ومن بين أجمل أمثلة تغيير مظهر سطح الأرض وانقلابه تبعاً لتعرية كل من الضهور والأغوار الصدعية الكبرى ما يتمثل فى المرتفعات الصدعية بأواسط ولاية تكساس وفى الحوض العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية .

#### كيفية تمييز الصدوع فى الحقل :

تقسم الصدوع عادة الى مجموعتين الأولى وتعرف باسم الصدوع السطحية الظاهرة Surface Faults ، والثانية تعرف باسم الصدوع تحت السطحية المستترة Subsurface Faults وينتمى أغلب الصدوع الى تلك المجموعات الأخيرة والتي لا يمكن مشاهدتها أو التعرف عليها إلا بعد إجراء الأبحاث الجيولوجية التفصيلية للمنطقة المقصودة بالدراسة . أما الصدوع السطحية التى تتمثل فوق سطح الأرض فيمكن تمييزها عندما يتعرف الباحث على بعض الشواهد والظواهر والأدلة الهامة التى تتعلق بحدوث الصدوع ، وتتلخص هذه الأدلة فيما يلى :

١ - مشاهد أسطح الصدوع على طول الحافات الصخرية الصدعية .

٢ - تكوين الخدوش والحدود على جانبي الطبقات التى رميت الى أعلى وتلك التى رميت الى أسفل بفعل احتكاك صخورها وانصقالها Slick ensides على طول أسطح الصدوع .

٣ - تكوين مناطق من الصخور المسحوقة أو المصقولة وصفائح من البريشيا المفتتة Faulted breccia تبعاً لعمليات احتكاك وزهزحة الصخور على طول أسطح الصدوع . وقد تشاهد بعض المواد المسحوقة فى منطقة سطح الصدوع وتعرف هذه المواد باسم الدقيق الصخري Rock Flour أو صخر الميلونيت Mylonite .

- ٤ - كثيراً ما تتجمع رواسب بعض المعادن فى الجيوب المحصورة بين الكتل الصاعدة وعلى طول نطاق أسطح الصدوع ومشاهدة مثل هذه الجيوب الطولية المعدنية إن دل على شيء فإنما كثيراً مايدل على تعرض المنطقة لفعل الصدوع .
- ٥ - تميل الطبقات الصخرية الى « التخانة » أو السماكة عندما تتقاطع بواسطة أسطح الصدوع وتكون أكبر سمكا من سمكها الحقيقى ، وذلك نتيجة لتأثير عمليات سحب الطبقات نحو منطقة التصدع .
- ٦ - قد تلاحظ على طول أسطح الصدوع مناطق صخرية مفتتة ومقطعة تقطيعاً شديداً بفعل الشقوق الناتجة عن شدة الاحتكاك والضغط وسحب الطبقات وشدها
- ٧ - الاختلاف فى الترتيب الطبقي العام للمنطقة . وقد يكون هذا الاختلاف رأسياً أو أفقياً أو مائلاً لاتجاه أسطح الصدوع
- الصدوع والظواهر التضاريسية لسطح الأرض**
- عندما تظهر الصدوع على سطح الأرض وتكون حركتها شديدة . فقد يؤدى ذلك الى تشكيل سطح الأرض بظواهر جيومورفولوجية متعددة وينجم عن الزحزحة الرأسية أو الأفقية للصدوع البسيطة العادية والعكسية والجانبية والنورانية تفتتات الهضبات وتقسيم الفرشات الإرسابية والمصهورات البركانية وهكذا قد نلاحظ فى الحقل مجموعتين من الرواسب ينتميان لفترة زمنية واحدة ومع ذلك توجد كل منهما على مناسيب مختلفة بفعل الصدوع التى زحزحتها رأسياً . وقد ينجم عن حدوث الصدوع السلمية تكوين مصاطب صخرية صاعدة ، فى حين تؤدى بعض الصدوع المركبة الى تكوين ظواهر الهضاب أو الضهور الصاعدة البارزة Horsts ، والأغوار الحوضية الصاعدة الهابطة Grabens والأخاديد الصاعدة .
- إلا أن أهم ظاهرة تضاريسية تنشأ بفعل حركات التصدع تتمثل بوجه

خاص في ظاهرة الحافات الصدعية . ويعتبر الأستاذ ولیم موریس دافیز W. M. Davis أول من حاول تحديد معنى المصطلحات العلمية التي تتصل بالصدع وفعل الصدوع وقد ميز دافیز بين نوعين من الحافات الصدعية هما :

أ - الحافات الصدعية : Fault Scarps ويقصد بذلك الحافات الصخرية التي تنتج مباشرة بفعل عمليات الصدع ويتفق اتجاه الحافة فيها مع أسطح الصدوع نفسها .

ب - حافات أسطح الصدوع : Fault-Line Scarps ويقصد بذلك الحافات الصخرية التي تتكون بفعل عوامل التعرية التي أشد فعلها وتأثيرها على مناطق أسطح الصدوع ، ويستمرار فعل عوامل التعرية تتراجع الحافة وتتبعد تدريجيا عن أسطح الصدوع .

وإذا كانت معرفة حافات أسطح الصدوع وتغييرها في الحقل يتطلب الكثير من الخبرة العقلية للباحث والدراسات التفصيلية الجيولوجية للمنطقة ، فإن الحافات الصدعية يصاحبها ويرتبط بها كثير من الظواهر التضاريسية التي يمكن أن نوجزها في الآتي :

١ - عدم التناسق أو التوافق بين كل من التكوين الصخري وظواهر سطح الأرض قد يكون مرجعه أحيانا فعل الصدع فعندما تتركب الحافات الصخرية لصدعية التي رفعت إلى أعلى من صخور لينة أو صخور متشابهة ومتجانسة في تركيبها الجيولوجي ، فإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن هذه الحافات في الصخور اللينة لا ترجع نشأتها إلى اثر فعل التعرية في الأنواع المختلفة من الصخور بل ترجع إلى حدوث فعل الصدع .

٢ - تشكيل الإقليم بالظواهر الأخدودية Rift- features التي تتمثل في الحافات الصخرية المستقيمة الامتداد وشبه المتوازية والتي قد تنفصل فيما بينها بواسطة الأغوار الضحلة ، والتلال السيفية المشرفة الشكل . ولجمل هذه الظواهر تتمثل في إقليم سان أندريا الصدعي

فى ولاية كاليفورنيا San Andreas Rift of California . فكل هذه الظواهر تدل على تكوين الحافات الصخرية بفعل حدوث التصدع .

٢ - تشكيل التمرير النهرى فى اعالي الأودية النهرية بتكوين البحيرات الصغيرة خاصة تحت أقدام الحافات الصخرية وتتكون هذه البحيرات عندما تتلاقى بمجارى نهريه عرضية Transverse Streams وينزل وجودها على حداثة تأثير الحافات الصخرية بفعل التصدع .

٤ - تكوين أهرامات من الرواسب النقيطة الحجم Screens ورواسب طميية مروحية Alluvial Fans تحت أقدام الحافات الصخرية ، يدل أحيانا على تكوين الحافات الصخرية بفعل التصدع . فتتجمع هذه الفتحات تبعاً لأثر انزلاق وزحف الصخور السفلية للتصدع من جهة وتعرية الحافات الصخرية فى الأجزاء العليا الضعيفة جيولوجيا لأسطح الصدع من جهة أخرى . وتنتشر مثل هذه الظواهر فى الأقاليم الجافة وشبه الجافة حيث تساعد قلة سقوط الأمطار وعدم جريان الأنهار بجوار الحافات الصخرية على تجمع الرواسب والفرشات الصخرية الحصوية تحت أقدام الحافات .

٥ - حدوث الزلازل فى منطقة الحافات الصخرية المرتفعة قد يدل على حداثة تكوين المنطقة جيولوجيا ( تكتونيا ) وأن بعض هذه الحافات هى صدعية النشأة .

٦ - تقسيم بقايا السهول التحاتية ذات العمر الواحد وزحزحتها ، فمثلاً إذا لوحظ أن بقايا سهل تحاتى ما يرجع تكوينه إلى الزمن الثالث ويشغل المناطق المرتفعة فى الإقليم ، وقد وجدت بعض بقاياها على كل من أعالي الحافات الصخرية من جهة وأسفل هذه الحافات فوق الطبقات السفلية للصدع من جهة أخرى ، فإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن هذه الحافات تكونت بفعل عمليات التصدع ، وأن هذه العمليات الأخيرة حدثت بعد تكوين السهول التحاتية أى فيما بعد الزمن الثالث .

٧ - اختلاف مواقع الرواسب والفرشات البلايستوسينية الحديثة بالنسبة

لوقوعها العام ، وهذه تشبه الملاحظة السابقة الذكر ، ولكن فى هذه الحالة إذا حدث وتصانف وجود رواسب بلايستوسينية أو حديثة فى مواقعها المألوفة ، فهذا يدل على أن حركات التصدع حديثة العمر جدا أى تكونت بعد عصر البلايستوسين أو خلاله .

٨ - تكوين ظاهرة « الفرشات اللافية المزحجة » Louderbacks وقد اقترح هذا التعبير الأستاذ وليم موريس دافيز فى عام ١٩٣٠ ليندل على الغطاءات اللافية التى انقسمت ثم تزحزحت أفقيا أو رأسيا بفعل التصدع . ومن ثم عند ملاحظة تكوين غطاءات لافيه فى أعالي الحافات الصخرية ، ثم وجود بقاياها تحت أقدام هذه الحافات كذلك ، فهذا يدل على أن الحافات الصخرية تكونت تبعا لحدوث فعل التصدع الذى أدى بدوره إلى تقسيم الغطاءات اللافية وانفصالها .

وتحسن الإشارة فى ختام هذا الموضوع إلى أن الصخور قد تنكسر دون أن يحدث فيها نتيجة لذلك أية زحزحة فى أجزاء الطبقات الصخرية . وفى هذه الحالة يطلق على « الشقوق » الصخرية اسم الفواصل Joints ، وإذا كانت أصغر حجما وذات فتحات ضيقة فتعرف باسم الشقوق Cracks . ويختلف اتجاهات الفواصل والشقوق فى الصخر فبعضها قد تكون رأسية Vertical والأخرى عرضية Horizontal أى تتلفق اتجاهاتها مع أسطح الطبقات وأخرى مائلة Inclined . وقد يتأثر الصخر بأحدى مجموعات هذه الفواصل أو الشقوق أو جميعها معا . ومن ثم قد يتأثر الصخر باتجاهين من الفواصل أو الشقوق يتقابلان فى زاوية قائمة أو غير قائمة ، وينتج عن ذلك تقسيم كتل الصخر المندمجة إلى كتل مكعبة صغيرة .

وتعتبر فتحات أسطح الصدوع والشقوق والفواصل من أهم مراكز الضعف الجيولوجى فى الصخر Geological Weakness حيث تساعد هذه الفتحات على تغلغل المياه إلى داخل الصخر وحدوث التجوية الكيميائية ، كما تعمل عوامل التعرية المختلفة والتجوية الميكانيكية على استمرار توسيع فتحات الشقوق والفواصل وإضعاف الصخر وتفتت أجزاءه . وتعمل المجارى النهرية على اكتشاف مثل هذه المناطق الضعيفة جيولوجيا وتعمق فيها مجاريها ، ويشهد فيها عمليات التحت الراسى والجانبى .

## الفصل الثامن

### القوى الخارجية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض

تؤثر العوامل الداخلية فى أشكال التركيب الجيولوجى لقشرة الأرض وتنوعه من إقليم الى آخر وفى نظام ميل الطبقات الصخرية الرسوبية وبعض الصخور المتحولة ( من أصل رسوبى ) . كما قد تؤدى الى انبثاق كتل الالافا والمصهورات البركانية فوق السطح . وعندما تظهر تلك الصخور بأشكالها المختلفة على سطح القشرة الأرضية تتشكل بدورها بفعل القوى الخارجية . التى تتمثل فى عوامل التجوية والتعرية . ومن ثم يمكن القول بأن القوى الداخلية تنبعث أساسا نتيجة للثورانات والاضطرابات التى تنتاب باطن الأرض وتؤثر فى الغلاف الصخرى فى حين تتمركز القوى الخارجية فى نطاقى الغلافين الجوى والمائى وتؤثر عناصر هذه القوى الخارجية فى الأشكال التضاريسية لسطح الأرض . ويقسم الباحثون العوامل الخارجية الى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - عوامل التجوية : Weathering ويقصد بها تلك العوامل التى تؤثر فى تفكيك الصخر وتفتيته فى موقعه In Situ وقد يتم ذلك ميكانيكياً أو كيميائياً أو بيولوجياً

ب - عوامل التعرية : Erosional Processes ويقصد بها تلك العوامل التى تعمل على نحت الصخر وإظهار ما يقع تحته ، ولا يقتصر عملها على فعل النحت فقط بل ونقل المقتاتات الصخرية من مكان الى آخر وإرسابها فى مناطق قد تبعد مئات الأميال عن المناطق التى انفصلت عنها . ومن أهم هذه العوامل فعل المياه الجارية السطحية والمياه الجوفية والرياح ، وفعل البحر وفعل الجليد .

## ١ - أولاً ، فعل التجوية

يمكن أن نميز فعل التجوية فيما يلى :

### ١ - التجوية الميكانيكية : Mechancial Weathering

ويقصد بها تفكيك الصخر وتقسيمه الى مفتتات صغيرة الحجم دون أن يتغير تركيبه المعدنى ، وتتم التجوية للميكانيكية عملها فى الصخر بواسطة عدة طرق مختلفة أهمها :

أ - تعرض أسطح الصخور لدرجات الحرارة المتغيرة : وخاصة فى المناطق التى يزداد فيها المدى الحرارى اليومى والفصلى . ففى تلك المناطق تتمدد الجزيئات المعدنية للصخر بفعل تسخين سطحه أثناء النهار خلال أيام الفصل الحار فى حين تنكمش جزيئات معادن الصخر من جديد عندما يبرد سطحه أثناء الليل وخلال أيام الفصل البارد . وعلى الرغم من أن عملية تمدد جزيئات معادن الصخر وانكماشها بفعل التسخين والتبريد Heating and Cooling تحدث ببطء ونسبة محدودة جداً ، إلا أن استمرار حدوث تلك العملية يؤدى الى اتساع فتحات الشقوق للصخرية ( خاصة فى الأجزاء العليا من الصخر ) وتساعد هذه العملية بدورها على كثرة وجود مناطق ضعيفة جيولوجيا فى الصخر من ناحية وتفتت الصخر وتفكيكه من ناحية أخرى . وتعرف عملية تفكيك الصخر وتقشير أجزائه العليا تبعا لتعرضه لدرجات الحرارة المتغيرة باسم « تقشير الصخر » Exfoliation . وعندما تتغطى الأسطح الصخرية بالمياه تارة ( عند سحب المجارى النهرية وخطوط السواحل البحرية والبحيرية ) ثم انحصار المياه عنها تارة أخرى وتكرار حدوث هذا الأمر ، تتعرض الصخور فى هذه الحالة لتتابع عمليات التبلل Wetting والجفاف Drying ، ويسهم ذلك فى سرعة تجويتها طبيعيا

ب - تعرض أسطح الصخور للبرودة الشديدة فى المناطق الباردة : عندما تتعرض الصخور لفعل البرودة الشديدة أو التجمد Freezing أثناء الليل أو خلال الفصل البارد وللفعل الإنصهار Thawing أثناء النهار ، قد يؤدى ذلك الى تجمد المياه بلخل فتحات الشقوق الصخرية وتنصهر المياه المتجمدة

أثناء النهار . وتبعاً لزيادة حجم المياه بعد تجمدها يتحطم الصخر وتتسع فتحاته وتتفكك جزيئاته . وتعرف هذه العملية باسم تتابع فعل التجمد والانصهار فى الصخر ، Freezing and Thawing وتشيع هذه العملية فى العروض الباردة .

## ٢ - التجوية الكيميائية : Chemical Weathering

وقد ينشط فعل التجوية الكيميائية فى الصخور تحت بعض الظروف الخاصة وهذه تتوقف أساساً تبعاً للعلاقة المتبادلة بين الغلاف الجوى والتكوين الصخرى لأسطح المناطق المختلفة من القشرة الأرضية . وعند حدوث التجوية الكيميائية فإنها لا تؤدي فقط إلى تفتيت الصخر ، بل ينجم عنها كذلك تمليله وتغير بعض من تكويناته المعدنية إلى معادن أخرى قد تكون مختلفة الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية ، وتعرف هذه العملية باسم « التحلل الصخرى » Rock decay <sup>(١)</sup>

وتعمل غازات الغلاف الجوى على تحليل الصخر بواسطة التفاعل مع المعادن التى تدخل فى تركيبه خاصة على طول أسطح الصدوع ( الانكسارات ) وفتحات الشقوق الصخرية ، وعلى الرغم من أن هناك غازات أخرى تكون نسبة وجودها بسيطة فى الجو ، ومع ذلك فتأثيرها الكيميائى فى الصخر يعد تأثيراً شديداً ، ومن بين هذه الغازات الأوكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء .

وعندما يتفاعل الأوكسجين مع الصخر فإنه يؤدي إلى أكسدة معادن الصخر Oxidation ، وتظهر الصخور غالباً باللون الأحمر دلالة على حدوث أكسدة المواد الحديدية بها ، أما أثر فعل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الصخور فيعرف باسم عملية التكوين Carbonation وعملية التميؤ Hydration أو الحلمأة على التوالى . كما قد يؤدي وجود الماء كذلك إلى إذابة بعض معادن الصخر مثل كربونات الكالسيوم مثلاً ، التى تمثل

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

حسن أبو المينين ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة الاسكندرية (١٩٩٥)

نسبة كبيرة من تركيب الصخور الجيرية ، وتعرف هذه العملية الأخيرة باسم عملية الازابة Solution .

ومن بين أحسن الأمثلة التي توضح فعل التجوية الكيميائية هي تلك التي تتمثل في الصخور الجرانيتية . فيتركب صخر الجرانيت من معادن أهمها الكوارتز Quartz ، والفلسبار بنوعيه ، الفلسبار الارثوكلازى Or-thoclase ( سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم ) والفلسبار البلاجيوكلازى Plagioclase Feldspar (سليكات البوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم ) ، والبتيوتيت Biotite والمسكوفيت Muscovite ونسب صغيرة من بعض المعادن الأخرى ومنها الزركون Zircon والأبتيت Abatite . وعلى ذلك يختلف تأثير فعل التجوية الكيميائية في المعادن المكونة لجرانيت من معدن الى آخر . فمثلا لا يتأثر معدن الكوارتز بفعل التجوية الكيميائية ويبقى كما هو دون أن يطرأ عليه أى تغيير تبعا لشدة صلابته وعدم قابليته للتحلل أو الذوبان ، ويشابه الكوارتز كل من معدنى الزركون والمسكوفيت . فبينما يعد الفلسبار الارثوكلازى قابل للتحلل الكيميائى ، حيث أنه يتكربن أو يتحلل الى سليكا قابلة للذوبان وملح البوتاسيوم ، وقد تؤدى البقايا المتراكمة من السليكا الى تكوين مادة الصلصال Clay فإن الفلسبار البلاجيوكلازى يتحلل عادة الى صوديوم وأملاح الكالسيوم ويكون فى النهاية كذلك مادة الصلصال . ويتضح من هذا المثال أن عمليات التحلل الكيميائى قد يتولد عنها ظاهرات جديدة . ولغفل التجوية الكيميائية أثر كبيراً فى تحليل طبقات الجير وتكوين ظاهرات عديدة فيها مثل الكهوف الجيرية والحفر الكارستية .

كما تعمل الكائنات الحية مثل جذور الاشجار والديدان والنمل الأبيض والبكتيريا والحيوانات القارضة وخاصة الكلاب البرية والأرانب والماشية وكذلك الانسان على تجوية سطح الأرض بيولوجياً Biological and Anthropogenic Weathering

ولا تستقر المفتتات الصخرية بعد تفكيكها ميكانيكياً أو تحللها كيميائياً فى موقع ثابت ، بل كثيراً ما تكون معرضة للحركة المستمرة

Mass Wastage من مكان الى آخر بواسطة فعل الجاذبية الأرضية وعن طريق كل من النقل Transportaiton ، والزحف Creeping ، والتساقط Falling ، والانسياب Flawing ، والانزلاق Sliding ومن ثم تتجه المفتتات الصخرية دائماً نحو المنحدرات السفلية أو تتبحرج وتنزلق من أعلى إلى أسفل ، ويشكل عملية تحركها العوامل الآتية :

أ - زيادة الضغط الواقع فوق المفتتات الصخرية تبعاً لزيادة تراكمها فوق بعضها البعض .

ب - زيادة نسبة الرطوبة في الرواسب وارتفاع كمية المياه فيها .

ج - فعل الجاذبية الأرضية .

د - شكل الانحدار العام للسطح .

هـ - لاختلاف التكوين الصخري للمواد التي تتألف منها المفتتات الصخرية وتبعاً لهذه العوامل السابقة قد تكون حركة تدفق المفتتات الصخرية بسيطةً وينجم عنها تكوين الظواهر التضاريسية الناتجة عن عمليات الزحف ، أو قد تكون سريعة وتؤدي إلى تكوين ظواهر تضاريسية أخرى تنتج عن عمليات التساقط والانزلاق .

## ثانياً - عوامل التعرية

إذا كان التكوين الصخري ونظام البنية الجيولوجية لهما الأثر الأكبر في خصائص مادة الصخرة وتتنوع صلابته من جزء إلى آخر ، فإن عوامل التعرية هي التي تشكل فيه ظواهر تضاريسية جديدة تختلف مجموعاتها من حيث الشكل والنشأة تبعاً لتنوع فعل عوامل التعرية من مكان إلى آخر . ومن ثم فإن عوامل التعرية أشبه بالحنات الذي يشكل مادة الصخر التي تقع تحت يديه إلى أشكال وصور مختلفة . ولا يقتصر فعل عوامل التعرية على نحت الصخر فقط بل تعمل كذلك على نقل المفتتات الصخرية من مكان إلى آخر ، وارسابها في مناطق أخرى قد تبعد كثيراً عن المناطق التي

نشأت فيها . وفى مجال هذه الدراسة سنشير بإيجاز الى نماذج مختارة  
للفعل بعض عوامل التعرية وتتمثل فالآتى :

١ - فعل المياه الجارية السطحية .

٢ - فعل المياه الجوفية .

٣ - فعل الرياح .

٤ - فعل البحر .

٥ - فعل الجليد .

### ١ - المياه الجارية السطحية

يقصد بالمياه الجارية السطحية ، المجارى النهرية ومجارى السيول  
شبه الدائمة الجريان ، والمياه المنصهرة من الجليد والتي تجرى جميعها  
فوق سطح الأرض وتنحدر من المناطق المرتفعة المنسوب الى الأخرى الأقل  
منسوبها وتعد الأمطار والثلوج للتساقطة من المصادر الرئيسية لاستمرار  
جريان المياه السطحية . وتعمل للمياه الجارية بما تصله من رواسب  
ومفتتات صخرية على شق مجرى النهر فى سطح الأرض وحفره . وقد  
تتعرض مياه الانهار لعوامل مختلفة تؤثر فى اختلاف منسوب سطح مياه  
النهر من وقت الى آخر وتتمثل فيما يلى :

١ - فعل التبخر الذى يزداد اثره بشكل واضح فى المجارى النهرية التى  
تخترق مناطق حارة جافة .

ب - تسرب بعض مياه مجرى النهر فى الصخور المسامية وخلال فتحات  
الشقوق والفوالق الصخرية .

ج - دخول مجرى النهر مناطق حوضية او بحيرات ثم يخرج منها أقل  
حجما عما كان عليه من قبل .

د - عبور المياه مناطق مستنقعية تعمل النباتات فيها على امتصاص نسبة  
كبيرة من مياه مجرى النهر ، ولو ان بعض هذه المياه تخرج ثانية الى

الجو عن طريق النتح .

كما تختلف سرعة النهر ومدى اتساع مجراه تبعاً لما يلي :

١ - حجم المياه الممتلئة في مجرى النهر .

ب - سرعة اندفاع المياه في مجرى النهر والتيارات المختلفة فيه .

ج - مدى انحدار مجرى النهر .

د - خصائص المواد التي يحملها النهر وتنوع حجم الفتحات الصخرية .

هـ - اختلاف التكوين والتركيب الجيولوجي للمنطقة الى يمر فيها مجرى النهر .

و - مراحل نمو مجرى النهر ووادية سواء اكسان في مرحلة الطفولة ( بداية نموه ) او الشباب او النضج .

وتبعاً للعلاقة بين كميات التساقط ومدى التبخر وكمية تسرب مياه الانهار ونوع الصخور تختلف كثافة المجارى النهرية . ويمكن القول بأن كثافة المجارى النهرية تزداد بشكل ملحوظ في المناطق المعتدلة والمعتدلة الباردة نتيجة لزيادة كميات التساقط ، وقلة مقدار التبخر ، في حين تقل كثافة المجارى النهرية في المناطق الحارة الجافة تبعاً لندرة سقوط الأمطار ، ولشدة درجة التبخر . ومع ذلك قد تتكون أنهار كبرى في بعض أجزاء من المناطق الحارة الجافة ( مثل مجرى نهر النيل في مصر ) خاصة إذا كانت مصادر أو منابع هذه المجارى النهرية تقع في مناطق خارج نطاق الصحارى الحارة الجافة وتتميز بكثرة سقوط الامطار فوقها .

وتتضمن المجارى النهرية على تحت الصخور وتعريتها عن طريق ما يعرف باسم النحت الرأسى للأنهار Vertical Erosion ، حيث تعمل المياه الممتزجة بالفتحات الصخرية على حفر النهر وتعميقه ، وتؤدي الى تكوين الحفر الوعائية Pot holes في قاع مجرى النهر . وبمرور الوقت تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها البعض ومن ثم يزداد تعمق مجرى النهر في الصخور ، ويكون لنفسها وانها عميقاً يبدو على شكل حرف V ويمثل

عادة بالأجزاء العليا من لحواض المجارى النهرية ، أو بمجرى النهر عندما يكون نشيطا (شكل ١١٦) .

وتنقل المجارى النهرية المفتتات الصخرية والرواسب بطرق مختلفة يمكن أن تتلخص فى الآتى :-

(١) نقل المواد التى تحللت من الصخر وأصبحت مذابة فى المياه الى الأجزاء الدنيا من النهر . وتختلف عملية التحلل الكيمايى للصخر تبعاً لعوامل مختلفة من أهمها تنوع التكوين الصخرى واختلاف درجة حرارة مياه مجرى النهر وشكل الدوامات والتيارات النهرية  
Eddy Currents

(ب) تفتت الصخور ميكانيكياً بفعل المياه ونقلها الى المناطق الدنيا من النهر .



(شكل ١١٦) خائق نهر كلورادو فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية

(ج) نحت جوانب النهر وقاعه عن طريق احتكاك الرواسب المنقولة مع النهر ، وينجم عن ذلك اتساع أرضية قاع النهر من جهة وتكوين الحفر الوعائية Pot Holes بقاع النهر من جهة أخرى.

(د) نقل المفتحات الصخرية عن طريق جرها وتسرحها على طول امتداد قاع مجرى النهر. وتؤدي هذه العملية إلى تفتيت أطراف الكتل الصخرية وشطف حوافها وجوانبها ، ومن ثم تصبح أصغر حجماً وتعمل إلى الشكل المستدير أو البيضاوي.

(هـ) قد تنقل مياه النهر كذلك كميات هائلة من الرواسب الصغيرة الحجم القليلة الكثافة عن طريق التعلق بمياه النهر لينة وزنها . ومثل هذه المواد الخفيفة الوزن الدقيقة الحجم جداً ، كثيراً ما تنساب مع تيار النهر مسافات طويلة صوب الجزء الأدنى من النهر.

وتعمل المجارى النهرية على تكوين ظواهر تضاريسية مختلفة بفعل الإرساب النهرية. ويساعد النهر على إلقاء حمولته وإرساب المواد التي ينقلها العوامل الأتية:

(أ) ضعف تيار النهر وقلة انحداره.

(ب) جريان النهر فوق منطقة سهلية مستوية السطح، ضعيفة الانحدار .

(ج) التقاء مجرى النهر بمجرى نهري أخرى تؤدي إلى تجمع الرواسب في منطقة الالتقاء النهرية.

(د) دخول النهر منطقة حوضية أو بحيرة ما ، ومن ثم قد يعمل النهر على إرساب حمولته في قاع البحيرة أو على شواطئها.

(هـ) ضعف قوة النحت الرأسى للنهر عندما يقترب منسوبه من مستوى سطح البحر الذي يصب فيه ، ومن ثم يتروخ مجراه من مواقع إلى آخر، ويرسب ما يحمله من مواد ومفتحات صخرية.

## اختلاف المظهر الجيومورفولوجى العام

### لمجرى النهر وواديه

يعتبر الباحث ولیم موريس دافيز أول من ميز بين المجارى النهرية المختلفة على أساس تطور نموها وذلك فى عام ١٨٩٢ . فقط لاحظ دافيز بأن هناك أنهاراً نشيطة تعمل على تعميق وديانها بفعل النحت الرأسى كما هو الحال بالنسبة لخائق كلوزادو العظيم ، فى حين تتميز بعض الأنهار بضعف عمليات النحت الرأسى التى تقوم بها ومن ثم تخترق مناطق سهلية مستوية السطح كما هو الحال بالنسبة للقسيمن الأوسط والأدنى من نهر النيل والقسم الأدنى من المسيسيبى . وعلى ذلك صنف دافيز الأنهار الى ثلاث مجموعات هى :

( أ ) أنهار فى مرحلة الطفولة - أى بداية مراحل نمو النهر .

( ب ) أنهار فى مرحلة الشباب - منتصف حياة النهر .

( جـ ) أنهار فى مرحلة النضج - آخر مراحل دورة نمو النهر .

كما لاحظ دافيز بأن حوض النهر المثالى Ideal Stream ذاته يمكن أن يقسم الى تلك الأقسام السابقة تبعاً لتنوع الظواهر التضاريسية بكل قسم واختلاف خصائص المجرى فيه . ف أوضح دافيز بأن معظم الأحواض النهرية المثالية فى العالم يمكن أن تتمثل فيها كل من مرحلة الطفولة وخاصة بالقسم الأعلى من النهر ومرحلة الشباب فى القسم الأوسط من النهر ، ومرحلة النضج فى القسم الأدنى من النهر . ولكن هناك بعض الأنهار الشاذة التى قد يظهر فيها مرحلة أو مرحلتان من هذه المراحل المختلفة كما هو الحال بالنسبة للأنهار الجبلية القصيرة التى تصب من منطقة المنابع إلى البحر مباشرة .

ويتميز القسم الأعلى من حوض النهر (خاصة إذا كان فى مرحلة الطفولة) بأن مجراه سريع الجريان، شديد التيار، وتكثر فيه الجداول والمساقط المائية . وتبدو جوانب النهر على شكل خنادق نهريّة عميقة ذات

جدران أو حوايط جانبية عالية. (شكل ١١٧) وتبعاً لارتفاع منسوب الأجزاء العليا من النهر في هذا القسم، ساعد ذلك على استمرار نشاط



شكل (١١٧) الخوانق النهرية والمظهر العام للحوض الأعلى لنهر بشيظ المنحدر الرأسى والتراجع الحلقى

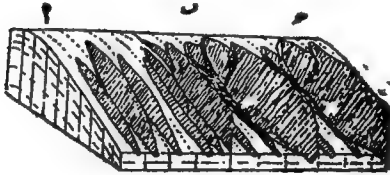
التعرية النهرية وتوالى عمليات النحت الرأسى وينجم عن ذلك سرعة تآكل الصخور للمنطقة التى يتمثل فيها القسم الأعلى للنهر ، وزيادة سرعة تراجع النهر خلفياً نحو المنبع. ويعمل النهر فى هذا القسم من واديه على تفتيت الصخور ونقل تلك المفتتات والرواسب من مناطق المنابع العليا للنهر إلى المناطق السفلى منه.

أما فى القسم الأوسط من حوض النهر (خاصة إذا كان النهر فى مرحلة الشباب) فيتميز مجرى النهر باعتدال تياره وانحداره وهبوط سرعة جريانه ، كما تقل تبعاً لذلك درجة النحت الرأسى ذلك لأن منسوب النهر لا يكون على ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى سطح البحر - مستوى القاعدة العام) ويلاحظ أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقاً لمنسوب واحد معين بل يعمل معظمها (خاصة الأنهار الرئيسية التى تصب فى البحار

للمفتوحة حسب مستوى القاعدة العام) في حين ينحت بعضها الآخر مجاريها رأسياً تبعاً لمستوى القاعدة المحلي والذي قد يكون أكثر ارتفاعاً أو أقل انخفاضاً عن مستوى القاعدة العام. وتبعاً لفعل كل من التعمرية الرأسية الجانبية النهرية في هذا القسم من حوض النهر، تتكون عدة ظواهر خاصة مميزة يمكن إيجازها فيما يلي:

أ- تكوين المجارى النهرية الرئيسة: Master Streams

تبعاً لتنوع التكوين الصخري يختلف مدى تعمق المجارى النهرية في الصخور من مكان إلى آخر، ومن ثم نلاحظ فوق المنحدر الواحد بعض الأنهار التي تتميز بشدة عمقها وارتفاع جوانبها الحائطية، في حين يبدو بعضها الآخر أقل عمقاً. ونتيجة لاستمرار عمليات النحت الرأسية النهرية الشديدة في مناطق الضعف الجيولوجية، قد تنجح المجارى النهرية العميقة في جمع الأودية النهرية الأقل عمقا وضمها داخل أحواضها . ( شكل ١١٨ ) .

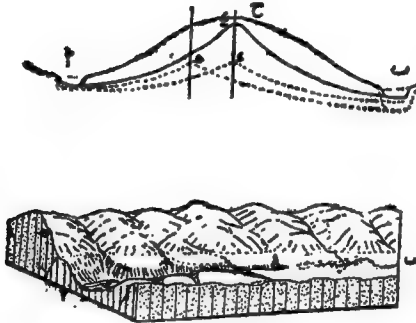


شكل (١١٨) مراحل التحام الأودية الصغيرة في الوادي الرئيسي الأشد عمقا

ب. ذبذبة خط تقسيم المياه : Shifting of water divides

يقصد بمناطق تقسيم المياه تلك الأراضي العالية المنسوب والتي تفصل بين أعالي نهريْن مختلفين ينحدران في اتجاهين متضادين .

ويلاحظ أن خطوط تقسيم المياه بين هذين الواديين لا تبقى في مكانها ثابتة دون تغيير ، بل كثيراً ما تتذبذب مواقعها حسب سرعة التعرية النهرية ومدى تآكل جانبي خط تقسيم المياه . فإذا كان هناك نهر على جانبي خط تقسيم المياه أشد قوة ونحتاً من النهر في الجانب الآخر وكليهما ينحت مجراه بشدة فإن خط تقسيم المياه يتميز في هذه الحالة بتغيره الدائم ويتجه أو يقترب بشدة صوب النهر الأقل عمقا تبعاً لشدة التعرية الجانبية للنهر النشط على الجانب الآخر من خط تقسيم المياه . (شكل ١١٩).



(شكل ١١٩) تذبذب خط تقسيم المياه تبعاً لاختلاف درجة النحت الرأسى والتعرية الجانبية للمجاري النهرية على جانبي خط التقسيم للمائى .

جـ - الأسر النهرى : River Capture

تظهر عمليات الأسر النهرى في القسمين الأعلى والأوسط من حوض

النهر وفي حالة كون مجرى النهر في مرحلة الشباب ويطلق على النهر الأسر اسم Capturing وللأسور اسم Captured or Diverted St. ويعمل النهر الأسر تبعاً لمستوى قاعدة أشد عمقا من الأنهار الأخرى المجاورة له ، ويرجع ذلك الى مايلي :

أ - عندما يكون النهر نهراً رئيساً يعمل لمستوى القاعدة العام فيتميز بشدة عمق مجراه وشدة انحداره ونشاطه .

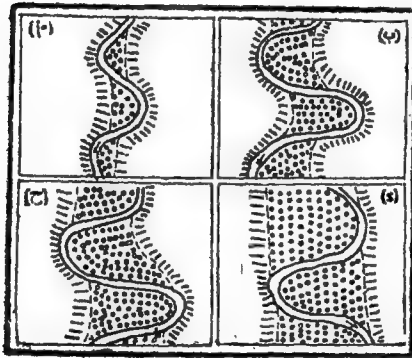
ب - عندما يشق النهر مجراه على طول مناطق الضعف الجيولوجية ، مثل أسطح الصدوع (الانكسارات) وفتحات الشقوق والفوالق وعلى طول نطاق الصفور اللينة .

ج - عندما يحتوى النهر على كميات من المياه في مجراه أكبر حجماً من تلك التي تتمثل في المجارى الأخرى .

ومن ثم تكون عمليات النحت الرأسية والأفقية في هذا النهر أكبر منها في النهر المقابل من الجانب الآخر وينجم عن ذلك تراجع النهر الرئيسى بسرعة نحو المنبع . وبذا تكون درجة التراجع الخلفى للنهر الرئيسى أسرع منها في النهر المقابل . ويتوالى عمليات النحت والتراجع يمكن للنهر الأسرع تراجعاً أن يأسر أجزاء من الأنهار الأخرى المجاورة التي تعمل لمنسوب أعلى من منسوب قاعدة النهر الرئيسى . ( راجع شكل ١١٩ ) .

أما بالقسم الأدنى من حوض النهر وفي حالة كون النهر في مرحلة الشيخوخة فيتميز مجرى النهر خلال هذه المرحلة ببطء انحداره ، وهذوء جرياته وضعف درجة النحت الرأسى لقرب منسوب النهر من مستوى القاعدة العام ، ومن ثم يصبح الارساب من أهم العوامل الى يقوم بها النهر خلال تلك المرحلة ، وتشكل الظواهر الناجمة عن فعل الإرساب المظهر الجيومورفولوجى العام لوادى النهر في قسمه الأدنى ، وفي حالة كونه بمرحلة الشيخوخة . ويتميز القطاع العرضى من مجرى النهر في هذا القسم باتساعه الملحوظ تبعاً لاتساع أرضية الوادى وسهوله الفيضانية .

ويترشح مجرى النهر من جانب الى آخر وتكثر فيه المنعطفات Meanders التي تعمل بنورها على اتساع أرضية الوادئ وتغطيتها بفرشات سميكة من الرواسب الفيضانية . ويوضح شكل ١٢٠ مراحل تطور أشكال المنعطفات النهرية واتساع أرضية الوادئ النهرية . ويمكن أن تلخص أهم خصائص مجرى النهر وواديه في القسم الأدنى من حوضه فيما يلي :



شكل (١٢٠) مراحل نمو المنعطفات النهرية واتساع أرضية الوادئ النهرية .

- أ- زيادة حثوث التعرية الجانبية نظراً لضعف قوة النحت الرأسى .
- ب- اتساع قاع النهر وأرضية واديه تبعاً لاستمرار تغير مجرى النهر من جانب الى آخر ( نتيجة لضعف الانحدار ويطغى الجريان واستواء السطح )
- ج- تكوين المنعطفات النهرية والبحيرات المقطعة .

د- زيادة اتساع السهل الفيضى وأرضية الوادى .

هـ- المساهمة فى بناء الدلتا .

و- بناء المدرجات النهرية على جانبي النهر .

يتضح مما سبق أن هناك بعض العوامل والظواهر الجيومورفولوجية الخاصة التى تشكل كلا من مجرى النهر ووادية فى أجزائه المختلفة ، وخلال مراحل نموه المتعاقبة . ولكن ليس معنى ذلك أن هذه العوامل وتلك الظواهرات يتوقف مجالها وتكوينها على جزء معين من مجرى النهر وواديه ، بل يمكن القول بأنه يسود أثرها فى جزء ما من مجرى النهر وواديه عن جزء آخر . فلا تعتبر عمليات الأسر النهري مثلاً قاصرة على مجرى الأنهار إبان تطور نموها خلال مرحلة الشباب ، إلا أنها فعلاً تعد أكثر حدوثاً خلال هذه المرحلة عن احتمال حدوثها خلال المراحل الأخرى من تطور حياة النهر . ويلاحظ كذلك أن أهم العوامل التى تقوم بتشكيل كل من خصائص للمجرى النهري وواديه فى الجزء الأعلى هى تلك التى تختص أساساً بعمليات الهدم بينما تلك التى تقوم بتشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام فى الجزء الأدنى من النهر هى تلك التى تختص بعمليات الأرساب أو البناء

## (٢) المياه الجوفية

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فقط ، بل تساهم كذلك فى نشوء ظواهرات جيومورفولوجية متنوعة فوق سطحها . ويظهر أثر فعل المياه الجوفية فى المناطق التى تتألف من الصخور الجيرية والطباشيرية ، حيث تعمل هذه المياه على تكوين عدة ظواهرات متنوعة منها الحفر المتعمقة ، والمقارات والمنخفضات ، هذا إلى جانب عملها فى تكوين ظواهرات أخرى تنشأ فى جوف القشرة الصخرية ومنها الكهوف بمظاهرها وأشكالها المختلفة ومجارى الأنهار الجوفية أو المفقودة Lost Streams . ويمكن أن نقسم المياه الجوفية وفقاً لتنوع مصادرها وأماكن وجودها إلى الأقسام الآتية :

١ - مياه جوفية عذبة ، وقد يتمثل مصدرها في مياه الأمطار الساقطة أو مياه الثلوج المنصهرة ، وتعرف باسم « المياه الجوية Meteoric Water » ، وذلك لارتباط نشأتها بعوامل الجو ، وتعتبر المياه الجوية المصدر الرئيسي للمياه الجوفية وتتوقف عملية تسرب المياه الجوفية في صخور القشرة الأرضية تبعاً لما يلي :

أ - درجة مسامية الصخر ، فإذا كان الصخر مثلاً للمياه وتكثر به الفراغات المتسعة بين حبيباته يساعد ذلك على تسرب المياه فيه ، ويساعد على تجمعها في هذه الطبقة الصخرية إذا كانت الأخيرة تتركز فوق طبقة صخرية أخرى غير منفذة للمياه .

ب - مدى تأثير الصخر بالشقوق والمفاصل والفوالق.

ج - اتجاه ميل الطبقات الصخرية وشدته.

٢ - مياه جوفية عذبة أو معدنية ، قد تختزن في الطبقات الصخرية المسامية تبعاً لتجمع بعض المياه الساخنة المنبثقة أثناء حدوث الثورات البركانية وتعرف باسم « مياه الصهير Magmatic Water »

٣ - مياه جوفية مالحة ، وهي التي قد تتسرب من البحار والمحيطات إلى اليابس المجاور تبعاً لميل الطبقات الصخرية المسامية في عكس اتجاه اتحدار الشاطئ . وتعرف باسم « المياه المحيطية Oceanic Water »

٤ - مياه جوفية عذبة و مالحة ، قد ترجع نشأتها إلى اختزاتها في الصخور الرسوبية أثناء عمليات تكوين الصخور نفسها ، وساعدت بعض الظروف على انحباسها في جوف الصخور حتى الوقت الحاضر . ومثل هذه المياه الجوفية نادرة التكوين وتعرف باسم المياه القطرية Connate Water .

٥ - مياه جوفية عذبة قد تتسرب من مياه المجارى النهرية عندما تشق الأخيرة صخوراً عالية المسامية ومنفذة للمياه ، كما هو الحال بالنسبة للمياه الجوفية التي تتسرب من مجرى النيل إلى منخفض وادي النطرون خلال وقت الفيضان.

وعلى الرغم من أن هناك بعض الطبقات الصخرية تتميز بأنها عالية المسامية إلا أنها قد تكون في نفس الوقت غير حاوية للمياه الجوفية، وذلك يرجع إلى عدم انحباس الأخيرة بواسطة صفور صماء غير مسامية تعمل على إيقاف رحلة المياه إلى جوف قشرة الأرض أبعد من العمق الذي وصلت إليه وعندما تتجمع المياه الجوفية فوق صفور غير مسامية وتحفظ بمنسوبها خلال فصول السنة المختلفة فيعرف هذا المنسوب بمستوى الماء الجوفى *Underground Water Table* ويختلف عمق مستوى الماء الجوفى من مكان إلى آخر حيث إنه فى المناطق الغزيرة الأمطار وتلك المجاورة للبحار قد يكون قريباً من سطح الأرض ، أما فى المناطق الجافة غالباً ما يكون مستوى الماء الباطنى على أعماق بعيدة من سطح الأرض. ويتميز مستوى المياه الجوفية بأنه ليس ثابتاً، بل هو يختلف من حيث أعماقه من مكان إلى آخر كما يختلف فى المنطقة الواحدة من فصل إلى آخر. فإذا كان مصدر المياه الجوفية يتمثل فى مياه الأنهار السطحية، فغالباً ما يرتفع منسوبه وقت فيضان هذه الأنهار ثم ينخفض منسوبه ثانية إبان التناقص. أما إذا كان مصدر المياه الجوفية خلال فصل سقوط الأمطار ففي هذه الحالة يرتفع منسوب المياه الجوفية خلال هذا الفصل وينخفض ثانية خلال فصل الجفاف . وتبعاً لاختلاف مدى تشبع الطبقات الصخرية بالمياه الجوفية يمكن أن نميز ثلاث طبقات مختلفة هي:

(أ) طبقة غير حاوية للمياه الجوفية: وهى عبارة عن الطبقات الصخرية العديمة التشبع *Layer Of Non - Saturation* وقد تكون هذه الطبقة غير مسامية لا تسمح بتسرب المياه فى جوفها وقد تكون عالية المسامية إلا أنه تبعاً لإنفاذها للمياه فإنها تساعد على تسرب المياه كلها خلال جزيئاتها دون أن تحتزن للمياه فيها، بل تستمر المياه الجوفية فى رحلتها صوب الأعماق البعيدة فى جوف قشرة الأرض.

(ب) طبقة متقطعة التشبع: *Layer of Intermittent Saturation* وقد تقع هذه الطبقة أسفل الطبقة الصخرية السابقة، وتختصر بين أعلى منسوب يصل إليه مستوى المياه الجوفية عقب فترة ازدياد حجم المياه ،

وأننى متسرب يهبط إليه عندما تقل كمية المياه فى جوف الصخر.

( ج ) طبقة دائمة التشبع : Layer of Permanent Saturation

وهى عبار عن خزان طبيعى للمياه الجوفية Aquifer تتجمع فيه المياه بعد رحلتها الطويلة خلال الطبقات، وتستقر فى هذا الخزان خاصة إذا كان قاعه يتألف من طبقة صخرية صماء تمنع تسرب المياه إلى الطبقات الأخرى السفلية.

ولا يتحتم أن تتمثل هذه الطبقات الصخرية الثلاث السابقة فى كل حالة، بل إذا كان مستوى المياه الجوفية قريباً من السطح ( كما هو غالباً فى المنخفضات ومناطق السبخات البحرية ) فقد لا تظهر الطبقة العليا غير الحارة للمياه، وتتمثل هنا الطبقتان الأخيرتان. وفى بعض الأحيان تظهر الطبقة الدائمة التشبع على السطح مباشرة، وهذا قد يتميز هذا السطح بظهوره على شكل مستنقعات واسعة الامتداد .

وتختلف كمية المياه التى يمكن أن تمتويها الطبقات الصخرية لاختلافها كبيراً بين كل طبقة صخرية وأخرى تبعاً لاختلاف مسامية هذه الطبقات من ناحية وكمية المياه المتسربة إليها من ناحية أخرى . وتعد أعلى الصخور مسامية تلك الطبقات الرملية أو الحصى المخلطة والمفككة، حيث تكثر فيها الفجوات والفراغات الصخرية Interstices وكلما كانت الطبقات مكونة من حبيبات صخرية مختلفة الحجم والشكل يزداد اتساع الفجوات فى الصخور. أما التكوينات المتجانسة Homogenous التى قد تتألف من المواد الطينية أو الصلصالية فقط فهذه تكون عادة متماسكة ولا تسمح بتسرب المياه فى ثناياها اللهم إلا إذا كانت شديدة التأثير بفعل الشقوق والفوالق التى تساعد على تسرب المياه الجوفية خلال فتحاتها . وقد يختزن فى تكوينات اللافا التى تكثر بها الشقوق والفجوات والفراغات كميات كبيرة من المياه الجوفية.

### مظاهر المياه الجوفية:

عل الرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة في جوف الصخور قشرة الأرض إلا أنها قد تظهر فوق سطح الأرض من جديد بصور مختلفة . ويساعد ظهورها فوق سطح الأرض حركتها الدائمة في جوف الصخور والتي ينجم عنها كذلك تشكيل كل من جوف قشرة الأرض وسطحها بظاهرات جيومورفولوجية متباينة . ومن بين أهم هذه المظاهر أو الصخور التي تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض ما يلي:

#### (أ) الآبار الارتوازية : Artesian Wells

ويقصد بها تلك الآبار العميقة التي يحفرها الإنسان في الصخور للوصول إلى المستوى الدائم للمياه الجوفية ، ومن ثم تندفع المياه من أسفل إلى أعلى طبيعياً (بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي — نظرية الأرائى المستطرفة) إلى أن تظهر فوق السطح . وعلى الرغم من أن هذه الآبار قد تسفل الإنسان في صنعها إلا أن وجودها يرتبط عادة بالمياه الجوفية التي تتجمع في خزانات الثنيات الصخرية المقعرة من ناحية ، كما أنها تعتبر مظهراً من مظاهر للمياه الجوفية على سطح الأرض من ناحية أخرى . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الآبار تلك التي تتمثل في إقليم أرتوا Artois في شمال فرنسا ، والآبار الارتوازية في السهول الوسطى الاسترالية وتلك في السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية .

#### (ب) الينابيع : Springs

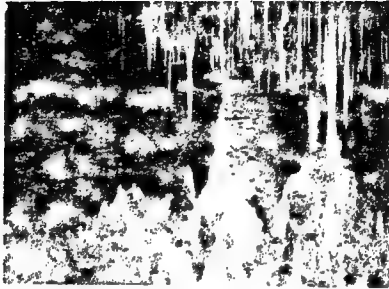
تتكون الينابيع عندما تنبثق المياه الجوفية من الطبقات الحاوية للمياه أو خزاناتها الجوفية انبثاقاً طبيعياً دون أن يكون للإنسان أى أثر في ذلك . وقد تتركب مياه الينابيع من مياه معدنية خاصة إذا تجمعت فوق تكوينات صخرية من السهل إذابة بعض تكويناتها المعدنية . وتعمل للمياه الجوفية خلال رحلتها الطويلة في جوف قشرة الأرض على إذابة كثير من معادن الصخور . ومن ثم ترتفع نسبة المعادن في المياه كما ترتفع كذلك نسبة الكالسيوم وتصبح مياه جيرية عسرة .

وتظهر الينابيع فوق سطح الأرض إذا ما تقطعت الطبقة الحاوية للمياه الجوفية بواسطة جوانب نهريّة عميقة ، كما قد تظهر الينابيع تحت أقدام الحافات الصخرية وعلى طول أسطح الصدوع (الانكسارات) أو عندما يعترضها سدود بركانية عرضية أو أفقية.

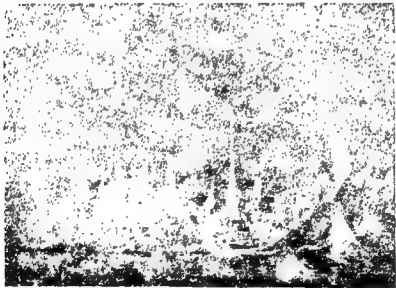
#### (ج) النافورات والينابيع الحارة : Geysers and Hot Springs

بالتدراسات المختلفة على أنه كلما كانت المياه الجوفية أتبى من أعماق بعيدة ارتفعت درجة حرارتها ، ويرجع ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض في الأعماق البعيدة عن السطح . ومن ثم تبين بأن مياه الينابيع الحارة لا بد وأن تكون قد تجمعت في أعماق بعيدة من سطح الأرض ويرجع ذلك إلى أن الماء الساخن أعلى قدرة من الماء البارد على إذابة المواد المعدنية التي تتألف منها الصخور من ناحية ، كما أن غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تكتسبه المياه الجوفية عادة من الفازات له قدرة كبيرة على إذابة بعض المواد المعدنية من ناحية أخرى .

هذا ويشهد فعل المياه الجوفية عندما تتغلغل في صخور جيوية عالية المسامية وكبيرة السمك . وقد تنجح المياه في توسيع فتحات الشقوق الصخرية تبعا لتوالي عمليات التجوية الكيميائية ، ومن ثم قد تتكون الحفرات والمفارات الجوفية . وإذا التهمت المفارات الجوفية بعضها ببعض الآخر تتكون الكهوف الجيوية الكبيرة الحجم ، وتتشكل أسقف الكهوف وجدرانها وأرضيتها بظواهر مختلفة تبعا لفعل التجوية الكيميائية . ومن بين أهم تلك الظواهر الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة ومن أظهر أمثلتها تلك بمفارة جعيتا جنوب بلدة جونية في لبنان ( شكل ١٢١ ، وشكل ١٢٢ ) .



شكل ١٢١ - لائحة الصخرية في كهف الكهف المسدي

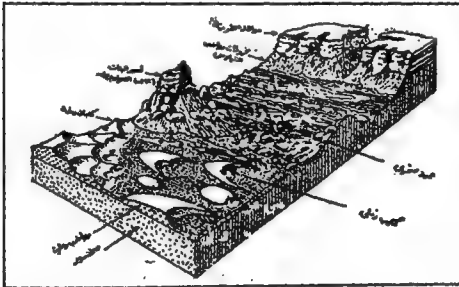


(شكل ١٢٢) تكوين الكهف الجيرية بفعل المياه الجوفية

### (٣) فعل الرياح

#### فى مناطق الصحارى الحارة الجافة

يعد فعل الرياح من أهم عوامل التعرية الدائمة الأثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لمعظم لجزاء سطح الأرض عامة ، وبالمناطق الصحراوية الحارة الجافة خاصة ، وذلك يرجع إلى ندرة الغطاء النباتى من جهة وعدم تماسك الحبيبات الصخرية لسطح الصحراء من جهة أخرى . ومن ثم لا يعرقل فعل الرياح عوائق كبرى تعد من عملها . ومن ثم تعزى نشأة معظم الظواهر التضاريسية بمناطق الصحارى الحارة الجافة إلى فعل الرياح كعامل هدم ونقل وإرساب . و يشاهد الباحث فى الصحارى الحارة الجافة ظواهر تضاريسية متنوعة مثل الحافات الصخرية ، والموائد الصخرية الصحراوية ، والأعمدة الصحراوية ، والكثبان الرملية ، وتعزى جميع هذه الظواهر أساسا إلى أثر فعل الرياح فى نحت وتشكيل صخور مختلفة التكوين الجيولوجى (شكل ١٢٣)



شكل (١٢٣) أثر فعل الرياح كعامل نحت ونقل وإرساب فى تشكيل بعض الظواهر التضاريسية بالصحارى الحارة الجافة .

ولا يتوقف مجال عمل الرياح على الصحراء فقط بل قد تتكون بعض

الظواهر الناتجة عن فعلها في مناطق أخرى بعيدة عن النطاق الصحراوي نفسه . وعلى سهيل المثال تتأثر السواحل الشمالية لجمهورية مصر العربية بواسطة العواصف الترابية الصحراوية والرمال التي تجلبها رياح الخماسين من أواسط الصحراء الكبرى . وتتأثر السواحل الجنوبية لفرنسا كذلك بفعل الرياح المحلية التي تهب من صحراء شمال غرب إفريقيا وترسب كميات هائلة من الرمال على طول السواحل الجنوبية لفرنسا المطلة على حوض البحر الأبيض المتوسط .

ويلاحظ أن حمولة الرياح من المفتتات الصخرية تختلف من حيث الشكل والحجم كذلك . وتبعا لثقل المفتتات الصخرية الخشنة الكبيرة الحجم نسبيا فهي تعد أول من يتعرض للسقوط والتراكم عندما تضعف قوة الرياح ، وهذا لا تبعد كثيرا عن المصادر الأصلية التي اشتقت منها أما حبيبات الأتربة والرمال الدقيقة الحجم جدا فهذه تبقى مدة طويلة معلقة في الجو وتحمل مع الرياح لمسافات بعيدة عن المصادر التي اشتقت منها

### أولا - أهم الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة تبعا لأثر

#### فعل الرياح كعامل نحت أو هدم

يمكن القول أن فعل الرياح كعامل هدم يمحصر في نقطتين هما

أ - حمل الرياح ذرات الرمال والمفتتات الصخرية ونقلها من مصادرها الأصلية إلى مناطق أخرى بعيدة تبعا لسرعة الرياح ومدى قدرتها على حمل المفتتات ويلاحظ أن قدرة الرياح على نقل المفتتات الصخرية تزداد عندما يشتد الجفاف ويندر وجود الغطاءات النباتية وتعرف هذه العملية باسم (هبوب الرياح) Deflation .

ب - أثناء هبوب الرياح المحملة بالرمال واصطدامها بالحافات الصخرية وبما يصانقها من عوائق جبلية يعمل الرياح بما تحمله من رواسب على تعرية صخور الأخيرة تدريجيا . ويلاحظ أن فعل النحت أو الهدم يشتد في الأجزاء السفلى من الحافات الصخرية وذلك ليس فقط بسبب ليونة

الصخر ورخاوته في الأجزاء السفلى منه ولكن كذلك تبعاً لزيادة جمولة الرياح من ذرات الرمال وحبيبات الصخر للفتتة خاصة في الأجزاء السفلية منها والتي تقترب من سطح الأرض . وعند اصطدام هذه الرمال واحتكاكها بقوة في الصخر ينتج عن ذلك تكوين مناطق ضعف جيولوجية في الصخور مما قد يعمل في النهاية على تعريتها وتآكلها بالتدريج . وتعرف هذه العملية باسم فعل كشط أو احتكاك الرياح Wind Abrasion ويمكن أن تلخص أثر فعل احتكاك الرياح في تكوين بعض ظواهر السطح في المناطق الصحراوية فيما يلي :

١ - تكوين الأسطح الصخرية المصقولة Polished Surface خاصة في الطبقات الجيرية نتيجة لتوالي احتكاك الرياح بأسطح هذه الطبقات . فتعمل الرياح المحملة بالرمال على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجي في الصخر . ومن ثم تحفر أو تعمق الأجزاء اللينة من أسطح الصخر حتى يتكون عليه حذوذ أو خنادق طويلة يتراوح عمق كل منها نحو بضعة سنتيمترات وتتبع نفس الاتجاه الذي تهب منه الرياح .

٢ - يتشكل الحمص في المناطق الصحراوية الحارة الجافة تبعاً لاحتكاكه بالرياح المحملة بالرمال ولذا يبدو مصقولاً أملس السطح . ويطلق على عملية تشكيل الحبيبات الصخرية بواسطة الرياح اسم Venti-fact<sup>(١)</sup> ، كما تعمل الرياح كذلك على كشط الأجزاء المحدبة من الحبيبات الصخرية التي تواجه اتجاه هبوب الرياح ، وقد يكشط الحمص من عدة أوجه إذا تقلب وتعرض عدة مرات متوالية لفعل احتكاك الرياح به . وعلى ذلك تبدو الحبيبات الصخرية ، طويلة الشكل وكثيراً ما تشبه اللوز البرازيلي Brasil Nuts . ويطلق على الحمص والحصباء في هذه الحالة تعبير Wind-worn Pebble ، أما إذا ظهرت الحبيبات الصخرية على شكل هرمي فيطلق عليها بالألمانية اسم Dreikanter .

٣ - تبعاً لاحتكاك الرياح المحملة بالرمال بأسطح الصخور المختلفة

---

(١) المعنى الحرفي لتعبير Ventifact هو : عمل بواسطة الرياح ، Made by Wind .

التكوين الجيولوجى أو بمعنى آخر تلك التى تتكون من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صفور لينة ، فقد ينتج عدة ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لسطح الصحراء . فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخر تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفى مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية Mesa والأعمدة الصحراوية أو قصور البنتات Buttee (شكل ١٧٤) .

وتنتشر فى ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية ظواهر جيومورفولوجية مختلفة من الموائد الصخرية والأعمدة الصحراوية التى نتجت بفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال فى الصفور اللينة ونحتها ، وبالتالى بقاء الصفور الصلبة على شكل أعمدة ومصاطب صخرية



شكل (١٧٤) تكوين الأعمدة الصحراوية تبعاً لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال فى صفور مختلفة الصلابة

٤ - وفى المناطق التى تتألف من طبقات صخرية أثقية صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة ، قد ينتج عن احتكاك الرياح فى الصخور السفلى اللينة تكوين تجويفات جانبية فى الصخور . وتبعاً لاستمرار تآكل الصخور اللينة تتبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة ، وتعرف هذه الظاهرة باسم زوجين Zeugen ، ويتراوح ارتفاع الغطاءات الصلبة فوق منسوب سطح الأرض المجاور من ٥ الى ١٥٠ قدم .

أما إذا تميزت الظاهرة السابقة بتنوع أشكال الغطاءات الصلبة تبعاً لشدة فعل احتكاك الرياح فيها من جهة وتآكل الصخور اللينة السفلى بسرعة من جهة أخرى ، قد تتكون الظاهرة المعروفة باسم « الياردانج » Yardangs dangs<sup>(١)</sup> التى تشبه ضلوع الصيوان ويتراوح ارتفاعها من ٣٠ الى ١٢٠ قدم فوق سطح الأرض المجاور ، وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة خنادق هوائية عميقة تحفر فى الصخور اللينة وقد تتعرض هذه الخنادق الأخيرة للإمتلاء التدريجى بفعل تراكم المقتاتات الصخرية التى تتساقط من الجوانب الصخرية المجاورة . وتنتشر مثل هذه الظاهرة فى صحارى أواسط آسيا . كما تظهر كذلك فوق معظم منحدرات المناطق الصحراوية الجبلية فى منطقة أمتامفونا Umtamvuna فى جنوب ناتال بجنوب أفريقيا<sup>(٢)</sup> . ( شكل ١٢٥ ) .

٥ - تبعاً لاختلاف التكوين الصخرى فى الطبقات التى تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال ، فلا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور ، بل تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب فى الصخور بينما تبقى أجزاء الصخر الصلبة على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين هذه التجويفات . وتعرف هذه الظاهرة باسم « ثقوب أو كهوف الرياح Wind

(١) أول من استخدم تعبير الياردانج هو الاستاذ بلاك ويلدر فى مقال سنة ١٩٢٤ .

Balkwelder, E., A Yardangs S. Geol. Soc. Amer. Bull., 45(1934) 195-166

وقد شاع استخدام هذا التعبير السابق فى الدراسات الجيومورفولوجية منذ ذلك الحين

(2) Wooldridge S. W., and Morgan, R. S., An Outline of geo-

morphology., London (1960), P.274.

Caves « ومن لجعل أمثلتها في جمهورية مصر العربية ثقب الرياح التي تتكون في الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس .



شكل (١٢٥) أشكال ظاهرات الزوجين ، واليارانيج ، والأعمدة الصخرية (قصور البنات) في الصحاري الحارة الجافة .

٦ - من بين أهم نتائج فعل احتكاك الرياح في الصحاري المصرية كذلك هو تكوين المنخفضات الصحراوية Depression والتي يطلق عليها اسم « الواحات » ومنها منخفضات الخارجة والداخلية والفرافرة والبحرية وسيوه والقطارة في الصحراء الغربية لجمهورية مصر العربية . ومن أظهر أمساح نشأة هذه المنخفضات الصحراوية بفعل احتكاك الرياح في الصخور اللينة الأستاذ بيدنل Beadnell وذلك من نتائج دراسته للواحة الداخلية في عام ١٩٠١ والفرافرة في عام ١٩٠١ والخارجة في عام ١٩٠٩ .

ثانيا - أهم الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة عن أثر فعل الرياح كعامل أرساب أو بناء

تتشابه الرياح مع المياه الجارية في أنها قد تفقد سرعتها بالتدريج أو فجائيا ، وينجم عن ذلك عرقلة أو إيقاف تأثيرها كعامل نقل ونحت ثم فتح المجال لارساب حملاتها من الفتحات الصخرية المختلفة على شكل ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة . وقد تكون بعض هذه الظاهرات غير ثابتة بحيث أنها تتلاشى ثانية بمجرد هبوب رياح شديدة مرة ثانية ، بينما يمثل بعضها الآخر ظاهرات ثابتة تبعا لكبر حجمها من جهة وتثبيت جندورها في الأرض بواسطة انضغاطها أو تماسك أجزائها بفعل المياه أو

الحشائش التي قد تنبت فيها من جهة أخرى . ومن بين أهم الظواهر  
الرئيسية الناجمة عن فعل أرساب حمولة الرياح هي الكثبان الرملية Sand  
Dunes (شكل ١٢٦) .



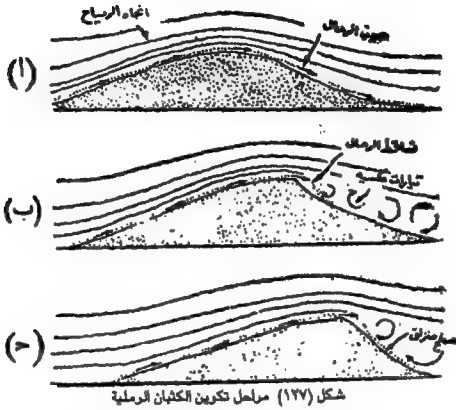
شكل (١٢٦) الكثبان الرملية - أهم مظهر من مظاهر الرياح كعامل أرساب بالصحاري  
الحارة الجافة

ويطلق لفظ « كتيب » على التلال الرملية التي يختلف ارتفاعها من  
بضعة أقدام إلى عشرات من الأمتار وتتكون أساسا من رمال مستديرة  
الحبيبات . وقد يكون العامل المساعد في بداية تكوين الكتيب هو تعرض  
الرياح لحاجز أو مانع في طريق اتجاهها وذلك مثل تل أو شجرة أو بناء ما  
، أو إلى تثنى سرعة الرياح وعدم قدرتها على نقل ما تحمله من رواسب  
أما إذا تميزت الرياح بشدة سرعتها وقدرتها على نقل كميات كبيرة من  
الرمال ثم تتوقف حركتها فجأة ، فقد تتكون كثبان رملية هائلة الحجم  
يتراوح ارتفاعها من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ قدم كما هو الحال في بعض أجزاء من  
الصحراء الكبرى في أفريقيا وصحراء كلورادو في أمريكا الشمالية . ولكن  
معظم هذه الكثبان حتى الكبرى منها ، معرضة للتزحزح بفعل حركة  
الرياح ، وهناك ملاحظة أخرى تجدر الإشارة إليها وهي أنه يجب أن

لانتخيل بأن سطح الصحراء يتكون من سهول رملية أو كثبان رملية فقط ، بل هو في الحقيقة يتشكل بظواهر جيومورفولوجية أخرى مختلفة ومن بينها الأرصفة الصحراوية والصحارى الحصوية والصخرية والمنخفضات والجيال ، وقد تبين أن نسبة الغطاءات الرملية في صحراء شبه الجزيرة العربية لا تزيد عن ثلث مساحتها الكلية بينما تبلغ مساحة الغطاءات والكثبان الرملية في الصحراء الكبرى نحو ١٠٪ من مساحتها الكلية .

### كيفية تكوين الكثبان الرملية واختلاف أشكالها :

عندما تضعف قوة الرياح قد تتساقط حملاتها من الرمال التي تتجمع فوق بعضها البعض ويتشكل مظهر تجمعها العام بواسطة حركة الرياح واتجاهاتها المختلفة ، وتتراكم عادة حبيبات الرمال على الجانب المواجه لاتجاه الرياح Windward Slope . ثم قد يبقى بعضها في أعالي الكثيب ويتنحرج البعض الآخر على الجانب المظاهر للرياح Lee-Slope وتتشكل عملية تنحرج ذرات الرمال وترحلقها Creeping and Rolling بفعل قوة الجاذبية الأرضية ، ومن ثم تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه للكثيب الذي تنحدر حبيبات الرمال إلى ما تحت أقدامه بفعل الجاذبية الأرضية فيتراوح انحداره من ٢٠ إلى ٢٠٠ ومن ثم فإن أولى مراحل تكوين الكثيب هو تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها وبالتالي يزداد ارتفاع الكثيب تدريجياً (شكل ١١٢٧) . وفي المرحلة الثانية تنحدر الرمال من أعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية تمت أقدام الجانب المظاهر لاتجاه الرياح ، وقد تنزلق كذلك كميات كبيرة من الرمال من أعالي الكثيب وتكون انحداراً شديداً إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح للمواجه لاتجاه الرياح (شكل ١٢٧ ب) وفي المرحلة الثالثة حيث يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط للمواجه للرياح والانحدار الشديد للمظاهر لها وتتجمع الرمال على الجانب الآخر الذي يتميز كذلك بتأثره بفعل الدوامات الهوائية Eddy Current



التي تساهم بدورها على ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب وتحول دون هبوطها تحت تقدم الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح ، هذا فضلا عن أن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة في ظهر الانحدار ولذا يبدو الأخير على شكل مقعر ويكتسب لنفسه ( بفعل الرياح القوية عند جانبيه ) ذراعين طويلين يمتدان مع نفس الاتجاه السائد للرياح ( شكل ١٢٧ ج )

وإذا كان الكثيب منفردا أو منعزلا ، تعمل الرياح على زحزحة جانبيه الكثيب بدرجة أسرع منها بالنسبة للقسم الأوسط منه ، وبهذا يتخذ الكثيب شكلا هلاليا يعرف باسم الكثيب الهلالي أو البرخان « Crescentic Dune or Barchan » وتتكون مثل هذه الكثبان الأخيرة في المناطق التي تتميز بدوام هبوب الرياح في اتجاهات محددة ثابتة . وكثيرا ما تتميز هذه الكثبان بتموجات ظاهرية يبلغ عمقها نحو ثلاث بوصات تدل على أثر حركة الرياح فوق أسطح الكثيب ويطلق عليها علامات حركة تملوج الرياح Ripple Marks ( شكل ١٢٨ ) أو علامات التملوج .



شكل (١٢٨) نماذج للكثبان الرملية الهلالية الشكل لاحظ علامات حواجز الرياح على  
سطح الكثبان

أما إذا اختلف اتجاه الرياح من فصل إلى آخر ، فلا يساعد ذلك على  
تكوين الكثبان الهلالية ، بل كثيرا ما تبدو التراكبات الرملية متقاطعة مع  
اتجاه الرياح في زوايا مختلفة كما قد تظهر كذلك على شكل سيوف طويلة  
رملية « Seif » وتختلف أشكال هذه السيوف الأخيرة تبعاً لعدة عوامل  
من بينها :

١ - اختلاف المواد التي تتألف منها السيوف الرملية .

٢ - اتجاه الرياح .

٣ - طول الزمن الذي تكونت خلاله هذه السيوف الرملية .

٤ - شكل سطح الأرض الأصلي الذي تراكمت فوقه الرمال .

ويبلغ ارتفاع بعض السيوف الرملية في صحراء إيران نحو ٢٥٠ متر  
فوق مستوى سطح الأرض المجاور ، وتمتد لمسافات قصيرة تتراوح من  
كيلو متر إلى ٣٠ كم بينما تمتد السيوف الرملية في الصحراء الغربية  
لمصر لنحو بضع مئات من الكيلومترات . ومن السيوف الرملية الهامة في  
مصر ، غرد أبو الحاريق الذي يبلغ طوله نحو ٢٥٠ كم ويحصر الرمال  
العظيم الذي يبلغ طوله نحو ٥٠٠ كم ومتوسط عرضه ١٥٠ كم ويمتد من  
جنوب متخفّض سيوه حتى هضبة الجلف الكبير في الجنوب . ويرجع

الاستاذ جون بول تبعاً لدراسته الخاصة عن تقدم هذه الكشبان أن غرد أبو  
المعاريق استغرق تكوينه نحو ٢٥ ألف سنة وأن رماله تتقدم فيه بمعدل  
١٠م في العام .

#### ٤ - فعل البحر

كل « شواطئ » <sup>(١)</sup> البحر وسواحله الحالية ما هي إلا نتاج التطور  
الذي حدث وما زال يحدث نتيجة لتقدم البحر وتقهقره عن الأرض المجاورة  
له . فيؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر أو انخفاض الأرض إلى إنغمار  
أجزاء واسعة من ظاهرات سطح الأرض والتي تكون قد نشأت أصلاً بفعل  
عوامل التعرية الهوائية الأخرى . وانغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا  
الشكل قد يساعد على تكوين « سواحل » <sup>(٢)</sup> بحرية أهم ما يميز مظهرها  
الجيومورفولوجي العام هو تشكيلها بواسطة الخلجان Bays والمضايق  
البحرية Estuaries والفيوردات Fjords والمعابر الأرضية Straits وقد  
يفصل بين هذه الظاهرات المختلفة أشباه الجزر الأرضية وعلى طول  
السواحل السهلية الانخفاضية Coasts of Submergence قد تنشأ كذلك  
خلجان واسعة الامتداد مثل خليج استراليا الكبير في جنوب استراليا  
وخليج هدسن في شمال قارة أمريكا الشمالية . أما إذا انخفض منسوب  
سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفارف القارية Continental Shelves  
للمجاورة أو كليهما معاً ، فينجم عن هذه العملية تقهقر أو تراجع البحر  
خلفياً ، وتظهر بالتالي أراضى جديدة تضاف إلى اليابس كانت تمثل من  
قبل أجزاء من قاع البحر ، وكثيراً ما تنقضى هذه الأراضى الجديدة ( )

(١) يقصد بتعبير « شاطئ البحر Coast » تلك الأراضي التي تمتد وراء الجروف  
البحرية Marine cliffs التي تتصرف على السواحل . ويعتبر منسوبها في معظم  
الأحيان أعلى من مستوى خط السواحل المجاور .

(٢) يقصد بتعبير « سواحل البحر (Shores) » ، مناطق النقاء مياه البحر تبعاً لتأثير  
فعل المد والجزر تعرف باسم السواحل الأمامية (Fore shores) بينما تلك التي  
تتد خلفها وراء هذه المناطق السهلية وتتحصر بينها من جهة وبين الجروف  
البحرية من جهة أخرى فيطلق عليها تعبير السواحل الخلفية (Back Shores)

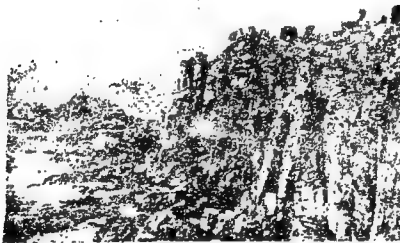
خاصة إذا كانت حديثة العمر الجيولوجى ) بكميات هائلة من الرواسب البحرية و...طلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة - Coasts of Emer- gene والمدرجات البحرية Marine Terraces (شكل ١٢٩) .

والى جانب العوامل المختلفة التى تؤدى الى نشأة السواحل البحرية ، يلاحظ أن الظواهر الجيومورفولوجية الساحلية ، تتنوع من حيث الشكل والحجم والتوزيع الجغرافى تبعاً لما يأتى :

أ- تأثير فعل كل من الأمواج وتيارات المد والجزر والتيارات البحرية .

ب- شكل الساحل وامتداده وتكوينه وتركيبه الصخرى .

ويعتبر عامل اختلاف التكوين الصخرى Lithological Variation من بين أهم العوامل التى تشكل المظهر الحيومورفولوجى العام لخط الساحل . فإذا كانت الجروف البحرية التى تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق طبقات صخرية ليثة ، وانها تمزقت وتشققت بفعل الشقوق الكثيفة Heavily Cracked فتتآكل الصخور اللينة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها ، وسرعان ما تنزلق الكتل



شكل (١٢٩) مدرج بحرى تعلته الأمواج - لاحظ تكوين الجروف البحرية .

الصخرية أو تنهار وتتماقظ من أعالي الجروف البحرية لتقدم إلى البحر  
رواسب قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه ويشد فعل التعرية وتتآكل  
الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة اللاصقة لصخور هذه الجروف  
ضعيفة التماسك ، كما هو الحال في معظم أجزاء سواحل كل من شرق  
إنجلترا ومقاطعتي سسكس Sussex وهامبشير Hampshire . فعندما  
تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية تنهار صخورها  
بسرعة ذلك لأنها تتألف من صخور بلايوسينية لينة غير متماسكة .

ونكى ندرك مدى سرعة التعرية البحرية على طول السواحل الشرقية  
لإنجلترا فقد أوضح الأستاذ ستيرر Steers 1953<sup>(١)</sup> بأن مقدار التراجع  
الخطي لساحل إقليم هولدرنس Holderness في شرق إنجلترا بلغ نحو  
٢١٥ قدماً في نحو ٣٧ عاماً ، أو بما يعادل تراجع خط الساحل نحو ستة  
أقدام سنوياً ، وتراجع السواحل حلفياً بسرعة ملحوظة ، إذا كانت تتألف  
صخورها من القبار والرماد البركاني الرخو الضعيف التماسك Soft Vol.  
canic Ash كما هو الحال بالنسبة لسواحل جزيرة كراكاتوا Karkatua  
(فيما بين سومطرة وجاوه)

وقدّر الأستاذ أمجروف Ambgrova في عام ١٩٥٤ أن هذا الساحل  
يتراجع في بعض أجزائه بمعدل ١ قدماً سنوياً خاصة في أجزائه التي  
تتألف من الرماد البركاني الضعيف التماسك وإذا استمر فعل الأمواج في  
تفتيت صخر الساحل فلا بد وأن تنقل هذه المفتتات بعيداً عن أقدام  
الجروف البحرية . أما إذا لم تستطع الأمواج وحركة تيارات المد والجزر على  
حمل هذه المفتتات فإنها تكون حاجزاً حصوياً يعرقل فعل نحت الأمواج  
وتخفيف مدى هدمها لصخور الساحل .

وإذا كانت الجروف البحرية تتركب من طبقات صخرية لينة كبيرة  
السّمك وتقع أسفل طبقات صخرية صلبة تكثر فيها الشقوق الطولية ،  
فقد يساعد هذا التركيب الجيولوجي على حدوث عمليات الانزلاق الأرضي  
Landslides التي تساعد بدورها على تراجع الجروف البحرية ، واستمرار

تاكلها بفعل التعرية البحرية . وتتمثل هذه الحالة فى بعض أجزاء من سواحل إقليم كيثينيس بانجلترا وكذلك فى بعض أجزاء من ساحل منطقة سيتون Seaton فى ديفون شير Devonshire بجنوب غرب إنجلترا . وتبعاً لتعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى للسواحل ، ومدى تراجع الجروف والحوائط البحرية تنوعت الظواهر الجيومورفولوجية على طول سواحل القارات ، واختلف مظهرها العام من جزء الى آخر تبعاً للظروف المحلية الخاصة بكل ساحل . وعندما يشتد فعل تراجع الجروف Cliff Recession خلفها ، تترك امامها سهولاً أو مدرجات بحرية مستوية السطح ، كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحرية فى منطقة لاجولا بساحل كاليفورنيا . (شكل ١٢٠) .

وعندما تتكون الجروف البحرية من طبقات صخرية غير متجانسة ومختلفة الصلابة ، سرعان ما تعمل الأمواج على نحت الصخور اللينة ، وحين ثم تكتشف مناطق الضعف الجيولوجى فيها ، ويمرور الزمن تتسع هذه الفتحات وتتكون ظواهر خاصة مثل الفجوات البحرية والكهوف البحرية<sup>(١)</sup> .

وقد تعمل الأمواج على استمرار تآكل الصخور اللينة ، ومن ثم يخلل توازن الصخور العليا الصلبة وتعرض للمستقوط والانزلاق ، وإذا تصادف أن تكونت فجوتان فى اتجاهين متضادين ، فقد تعمل الأمواج على اتحامهما ببعضها البعض ، وتتكون ظاهرة الجسر أو القوس البحرى Arch or Sea Bridge أما إذا اخلل توازن أسقف القوس البحرى وانهارت صخوره ، تنفصل السنة الجروف الصخرية ، وتتكون المسلات البحرية Sea Stacks .

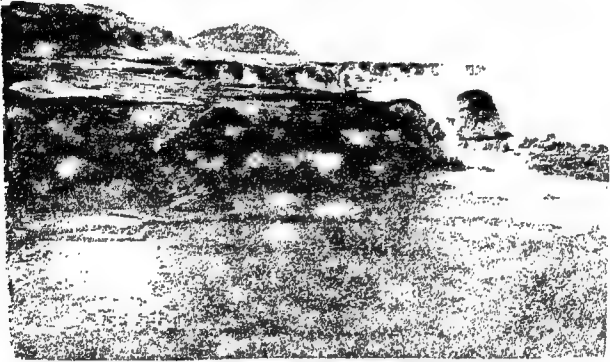
---

(1) Steers, J.A., "The sea coast", London, (1953).

ب- حسن أبو العينين : أصول الجيومورفولوجيا - مؤسسة الثقافة الجامعية -  
الأسكندرية - الطبعة الحادية عشرة ( ١٩٩٥ ) .

ومن بين أجمل أشكال المسلات البحرية . تلك التى تتكون فى الطبقات الطباشيرية على طول بعض أجزاء من السواحل الغربية لجزيرة وايت Isle of Wight بانجلترا . وخاصة مسلات النيدل The Needles والمسلات البحرية التى تتكون فى صخور الحجر الرملى الأحمر القديم Old Red Sandstone . فى سواحل أوركنى Orkneys بشمال إنجلترا . وعند رأس دنكاسبى ، بإقليم كيثينيس Caithness بانجلترا

كما تتمثل المسلات البحرية أمام ساحل مدينة بيروت ( لبنان ) بأشكال مختلفة . وأكبرها حجما تلك المعروفة باسم « الروشة »



شكل ( ١٢ ) مسلة بحرية انفصلت عن القارء البحرية

لاحظ تكوين المدرجات البحرية

وتظهر المسلات البحرية كذلك على طول بعض أجزاء من السواحل الشمالية الغربية لجمهورية مصر العربية . وأشهرها المسلات البحرية أمام ساحل مرسى مطروح . وفى شتاء عام ١٩٦٤ . تعرضت قاعدة إحدى هذه المسلات الأخيرة لفعل الأمواج الشديدة ومن ثم احتل توازنها وسقطت فوق أرضية البحر

أما إذا كانت صخور الجروف البحرية تتميز بصلابتها وعدم مساميتها ، وأن المادة اللاصقة لجزيئات هذه الصخور شديدة التماسك ، فإنه يقل بالتالى أثر فعل الأمواج فى تعرية صخور الساحل . ولكن مع هذا يستمر فعل التعرية بل ويظهر واضحا على طول مناطق الضعف الجيولوجى التى تتمثل عادة فى فتحات الشقوق واسطح الصدوع . ويمرور الزمن تتسع هذه الفتحات بفعل التعرية البحرية وتكون فجوات داخلية عميقة فى جوف الصخر .

يتضح من هذا العرض أن البحر يقوم بعدة عمليات مختلفة يشكل فيها الظواهر الساحلية من جهة ، وأرضية قاعه من جهة أخرى ، وتبعا لاختلاف مستوى سطح البحر وتذبذبه خلال العصور الجيولوجية المختلفة . نتج عن ذلك اختلاف أشكال البحار وامتداد سواحلها واستمرار عمليات الصراع والنزاع بين اليابس والماء فى تشكيل سطح هذا الكوكب . وتقوم المياه نفسها وكذلك الأمواج بفعل الهدم أو النحت وينجم عن ذلك ميلاد ظواهر جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لساحل البحر وتعمل الأمواج كذلك على نقل مفتحات صخور الشاطئ الى داخل المحيط حتى يترسب معظمها فوق أرضية كل من الرفرف والمنحدر القارى والسهول المحيطية . وينجم عن حركة المياه الدائمة توزيع الارسابات وانتشارها فى الأعماق المختلفة تبعا لحجم حبيبات هذه الرواسب من جهة والمصدر الذى تفتت أو تطللت منه من جهة أخرى . وفى الأعماق البعيدة يتشكل قاع المحيط برواسب الأور الدقيقة الحجم Ooze deposits .

## • فعل الجليد

تتأثر مناطق سطح الأرض التى غطيت بالتكوينات الجليدية لفترة طويلة من الزمن بظواهر خاصة ذات شخصية جيومورفولوجية مميزة . وقد كان فعل الجليد خلال فترات عصر البلايستوسين ( العصر الجليدى فى العروض المعتدلة والباردة ) أكثر وضوحا وأوسع مجالا عما يبدو عليه اليوم . ولا يزال يشكل فعل الجليد سطح الأرض فى المناطق

القطبية والمناطق الجبلية العالية التى تقع فى مستوى خط الثلج الدائم . وتتدرج الظواهر التضاريسية الجليدية ليس فقط تبعاً لاختلاف التركيب الجيولوجى بل وكذلك وفقاً لأشكال التكوينات الجليدية التى أدت إلى تكوينها ، وتتلخص أهم أشكال الجليد فيما يلى :

أ - **الغطاءات الجليدية : Ice Sheets** وتتكون تبعاً لتراكم الثلج المتساقط أو بواسطة تجمع الثلج للنحدر من القمم الجبلية على شكل فرشاة واسعة الامتداد تنتشر فوق المناطق السهلية . وإذا كان تساقط الثلج غزيراً وظلت درجة الحرارة دون نقطة التجمد لفترات طويلة من الزمن فلا يتعرض الثلج كثيراً للانصهار بل ينجم عن تجمعه فى هذه الحالة تكوين كتل جليدية تتحرك بنورها فوق سطح الأرض على شكل غطاءات واسعة الامتداد . وتعد كل من جرينلند وAntarctica المناطق الرئيسة التى لا تزال مغطاة بغطاءات جليدية قارية هائلة الحجم فى الوقت الحاضر.

ب - **الثلجات أو الأنهار الجليدية : Glaciers** وهذه عبارة عن كتل من الجليد تنحدر من الحقول الثلجية وتتجه إلى المنحدرات السفلى بمساعدة فعل الجاذبية . وتكاد تتمثل حقول الثلج الدائمة فى مناطق متفرقة بجميع القارات فيما عدا استراليا . ويتعرض الجليد فوق المنحدرات الجبلية للانصهار خاصة خلال فصلى الربيع والصيف ، إلا أن بعض أجزاء من الجليد قد لا تتأثر بهذا الفعل وتبقى موجودة دائماً فوق هذه المنحدرات . ويطلق على هذا المستوى الدائم والذى لا يتعرض الثلج فيه لفعل الانصهار تعبير مستوى الثلج الدائم Snow line . ويختلف ارتفاع هذا المستوى من منطقة إلى أخرى ، حيث يقع فى المناطق القطبية على ارتفاع ٢٠٠٠ قدم فى حين يظهر فى جبال الألب على ارتفاع ١٣٠٠٠ قدم وفى الهمالايا على ارتفاع ١٨٠٠٠ قدم .

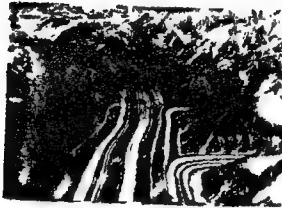
وتنحدر الأنهار الجليدية من مصابرها الأولى فى المناطق المرتفعة ببطء شديد على شكل لسان جليدى يستمد مصدره وقوته من الثلج المتراكم فى الحقول الثلجية Fems ومن ثم يتعرض النهر الجليدى

للانصهار والتبخّر في الصيف بينما يتقدم الجليد خلال فصل الشتاء ببطء .

وقد تقع مقدمة النهر الجليدي تحت متسوب خط الثلج الدائم والحقول الثلجية بعمق بضعة آلاف من الأقدام . وحيث تتعرض الأنهار الجليدية بالمناطق القطبية في الوقت الحاضر لفعل التبخّر والانصهار فإن مقدمات النهر الجليدي في تقلص وانكماش وتراجع تدريجي صوب منابعها العليا . وإذا انسابت الأنهار الجليدية من اليابس وانتهى بها المطاف الى البحر أو المحيط المجاور ، فقد تظهر التكوينات الجليدية على شكل جبال ثلجية طافية Ice Bergs تحركها الأمواج وتدفعها التيارات البحرية من مسطح مائي إلى آخر في قلب المحيط . ومن المعروف أن نحو ٩٠ ٪ من حجم هذه الجبال تكون غاطسة في المياه بينما يظهر القسم الباقي من حجمها طافيا فوق سطح مياه البحر ، ومن ثم تعد الجبال الثلجية الطافية خطرا كبيرا على الملاحة البحرية .

#### الظواهر التي تشكل سطح الانهار الجليدية ( الثلجات ) : Glaciers

يتميز سطح الانهار الجليدية بأنه ليس سطحاً أملساً مستوياً ، بل يختلف من جزء إلى آخر من حيث الشكل والانحدار والظواهر العامة التي تتكون فوقه . فإذا تجمع الجليد في وادي نهري سابق ، أو انحصر بين جوانب جبلية عالية ، ينحصر النهر الجليدي في هذه الحالة في وادي محدد الجوانب ، ولكن عندما ينساب الجليد من وادي متسع إلى آخر أقل اتساعا ، سرعان ما يتجمع فوق بعضه البعض ويزداد سمكا ، ويتشكل سطحه المموج بواسطة تجمعات وتجاويف وشقوق مختلفة ، أما إذا تقدم الجليد من واديه إلى أراضى منبسطة سهلية يقل سمكه ويتسع امتداده ويتشكل سطحه بفتحات وشقوق عميقة متشابكة تعرف باسم شقوق الجليد Crevasses وتبعا لتراكم الجليد في القسم الأوسط من مجرى النهر الجليدي فإن هذا القسم يتقدم بسرعة أكبر من تقدم أطراف جانبيه المجري الجليدي . (شكل ١٣١ وشكل ١٣٢)



شكل (١٢١) نهر الجليلي (الغلاجة) .

وتختلف مقدار القومية الجليلية تبعاً لاختلاف الموقع الجغرافي للإقليم ومدى تنصرحه ، وتمد المناطق المرتفعة التي ينحدر منها الجليل من المناطق يشهد فيها فعل التصرية الشديدة وتعرض المناطق السهلية المنخفضة التي تقع تحت اقدام الحافات الجبلية لكل من فعل التصرية والأرساب ، في حين تتشكل بساطق الحنية أو الديالقية من العطافات الجليدية بفعل الأرساب . وفي كل من هذه الأقاليم جيومورفولوجية الثلاثة (الجبلية المرتفعة ، والسهلية ، والحنية ) ينشكّل الخصوف النهرى فيها بفعل المياه المنصهرة من الجليد



شكل (١٢٢) الغلاجة أو النهر الجليلي ، لاحظ تكوين التوكانات الجليدية

أولا : بعض الظواهرات الجليدية فى المناطق الجبلية المرتفعة :  
Glaciated highlands

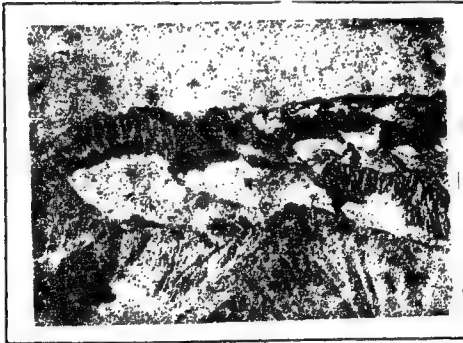
قد يغطى الجليد معظم الأراضى المرتفعة فى المناطق القطبية فيما عدا قمم الجبال العالية الشديدة الإنحدار التى تظهر عادة بارزة فوق سطح الجليد ، ومن ثم تتعرض هذه المناطق الأخيرة لتأثير فعل تجمد المياه وانصهارها Freeze and Thaw Action. وينجم عن هذه العملية اتساع فتحات شقوق الصخر بالتدريج وتكوين مناطق ضعف جيولوجية تؤدى الى تساقط الصخور وانزلاق الأرض . أما فى المناطق التى تقع أسفل القمم الجبلية والتى تغطى بالجليد طوال السنة فإن تأثير حدوث فعل تجمد المياه وانصهارها فى جوف الصخر يكون محدوداً . (شكل ١٣٣) .



شكل (١٣٣) الولدى الجليدى على شكل حرف (U)

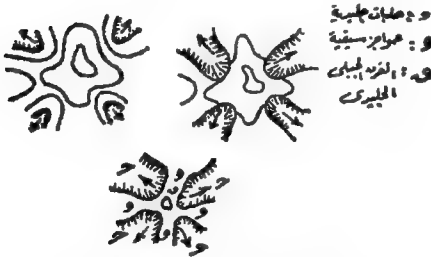
وتعد ظاهرة الحلبات الجليدية Corries من بين أهم الظواهر التي ترمز إلى حدوث فعل التعرية الجليدية في المناطق الجبلية . وتعرف هذه الظاهرة أيضا باسم Cums or Cirques وتبدو على شكل ظهر الكرسي المستدير Armchair حيث أنها تتكون من ظهر شديد الانحدار . (شكل ١١٠) وانحدار أمامي بسيط الانحدار وقد يشغل قاع الحلبات الجليدية بعض البحيرات الصغيرة الضحلة التي تنشأ بفعل انصهار الجليد وانحباس المياه فيها بواسطة الركامات والارسابات الجليدية . ويوضح ( شكل ١٢٤ ) نماذج للحلبات الجليدية في أعلى مرتفعات سيرا العليا بكاليفورنيا .

وقد أكدت الدراسات الجيومورفولوجية بأنه عند تعرض الحلبات الجليدية فعل التعرية الجليدية والهوائية وتسايط لصخور وعمليات الانزلاق ، فإن ظهر الحلبات الجليدية يأخذ في التراجع الخلفي بمرور



شكل (١٢٤) بعض الحلبات الجليدية في أعلى مرتفعات سيرا العليا بكاليفورنيا

الوقت وتتسع لرضية الحلبة وجوانبها<sup>(١)</sup> ، وفي مرحلة متأخرة تنكمش مساحة الأراضي الفاصلة بين الحلبات المجاورة لبعضها البعض وتتكون حواجز مخرسة ، وقمم جبلية لم تطأ عليها بعد عمليات التآكل التدريجي . ويطلق على تلك الحافات البارزة ، والتي تشبه عادة السيوف الحادة المشرشرة اسم Aretes . أما القمة الجبلية العليا فتبدو على شكل رأس الهرم أو القرن الجبلي Horn ، ويوضح ( شكل ١٢٥ ) مراحل تكوين كل من ظاهرات الحلبات الجليدية والسيوف الجبلية البارزة والهرم أو القرن الجبلي . للجليدي .



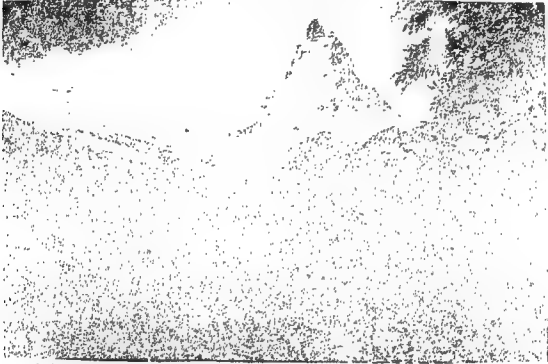
شكل (١٢٥) مراحل تكوين الحلبات الجليدية والقرن الجبلي الجليدي

ومن بين أجمل أمثلة القرن أو الهرم الجليدي جبل ماترهورن The Matterhorn في سويسرة . حيث عملت الحلبات الجليدية على نحت جوانب هذا الجبل وظهوره بقمة هرمية بارزة الشكل ويتجمع الثلج والجيد في مقعرات الحلبات الجليدية وتنساب السنته الجليدي من هذه الحلبات نحو الأودية والثلاجات الجليدية .

(١) للدراسة التفصيلية راجع حسن أبو العينين : أصول الجيومورفولوجيا : دار المعارف الاسكندرية - ١٩٦٦ ، والطبعة الثانية عشرة (١٩٩٥) .

### الأودية الجليدية : Glaciers

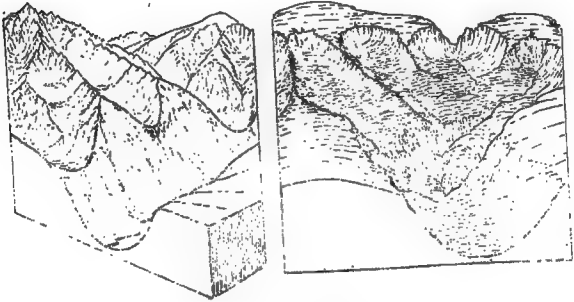
يتعرض الجليد تبعاً لاتسياه البطيء بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية للتقدم التدريجي صوب المنحدرات السفلى والأراضي المنخفضة ، ولذلك قد يكون الجليد لنفسه أودية محددة الجوانب يتحرك فوق أرضيتها ويحتك بصخور جوانبها ويقتشطها ويعمل على تعميق هذه الأودية ، وتعرف الأخيرة باسم « الأودية الجليدية » . ( شكل ١٣٦ ) أو الفلاجيات ( شكل ١٣٧ )



شكل (١٣٦) جبل ماتروموند في سويسرا وهو من أشهر أمثلة الجبال الهرمية الجليدية في العالم

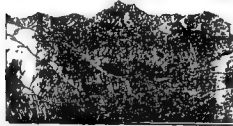
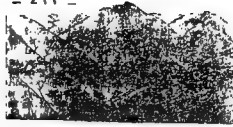
وأهم ما يميز القطاع العرضي للوادي الجليدي ظهوره على شكل حرف ( U ) بخلاف الأودية النهرية التي تبدو قطاعاتها العرضية - خاصة أثناء المراحل الأولى من نشأتها - على شكل حرف ( V ) . أما الأودية الفرعية للنهر أو الوادي الجليدي الرئيسي فهذه تظهر غالباً على شكل أودية جليدية معلقة Hanging Valleys حيث لا تصل مستوى قاعها إلى المستوى الذي وصل إليه الوادي الرئيسي . وقد يتشكل قاع الأودية الجليدية بعدة ظاهرات جيومورفولوجية تختلف من مكان إلى آخر تبعاً

لظروف متعددة . ومن بين أهم هذه الظواهر تلك المعروفة باسم الأحواض المغلقة Enclosed Basins والمدرجات الجليدية Glacial Terraces والصخور الغنمية Roches Moutonnes ويتميز مجرى النهر الجليدى بكونه قليل المنعطفات ، بل يمتد عانة امتدادا طويلا وفى اتجاه مستقيم ، بخلاف الحال مثلا بالنسبة للمجارى النهرية ذات المنعطفات المتعددة .



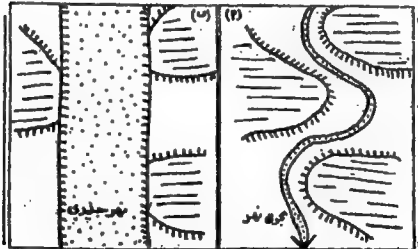
شكل (١٣٧) الشكل العام للوادي الجليدية وأدبيته المعلقة .

وتعد كل هذه الظواهر السابقة الذكر والتي تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام للوادي الجليدى ( الامتداد الطولى للمجرى الجليدى والأكسنة المقشوفة Truncated Spurs والأودية الفرعية المعلقة وشكل جوانب الوادى وشدة انحدارها ) نتاج كل من التحت الراسى والجانبى للجليد . فالأكسنة الأرضية المقشوفة مثلا كانت فى بداية نشأتها أراضى مرتفعة بين أودية نهريه صغيرة ، ثم تعرضت للاحتكاك بجوانب



شكل (١٢٨) تطور تكوين الوادي الجليدي والحلقات الجليدية

النهر الجليدي الذي عمل على حمت بروزاتها والسنتها المتداخلة - Inter-  
locking Spurs. ( شكل ١٢٩ )



شكل (١٢٩) اثر كل من المجرى الجليدي والمجرى النهرى في تشكيل مناطق

البروز - اراضى ما بين الأودية

### ثانيا : بعض الظواهرات الجليدية على طول السواحل الجبلية :

#### Glaciated High Coasts

إذا تراكم الجليد أو تجمعت غطاطته على طول السواحل الجبلية المرتفعة فإن أهم ما ينجم عنه في هذه الحالة تكوين الظواهرات المعروفة باسم الفيوردات التي هي عبارة عن وديئة نهريّة جليدية غاطسة تحت سطح البحر . وقد تبين من الدراسات التي أجريت في قاع الفيوردات أن أعماق المياه فيها تعد أكبر عمقا بالقرب من خط الساحل في حين تبدو لعمق الفيورد ضحلة نسبيا عند مدخله داخل البحر ، وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على شدة فعل التآكل الجليدي الشديد ( بفعل احتكاك جبال الثلج الطافية ) بجوار خط الساحل . ومن المعروف كذلك أن عمق المياه في الفيوردات أكبر بكثير من التآكل الذي طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين . فبيلغ متوسط عمق المياه في فيورد سوجن Sognefjord في النرويج نحو ٤٠٠٠ قدم ، ومتوسط عمق المياه عند مدخله نحو ٦٠٠ قدم . في حين لم يزد التآكل الجليدي في منسوب البحر منذ عصر البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر عن ٢٠٠ قدم . وعلى ذلك يمكن القول بأن ارتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية البلايوستوسين ( تبعا لانصهار الجليد ) ليس له تأثيراً كبيراً في نشوء الفيوردات بالمناطق الجبلية الساحلية الجليدية .

### ثالثاً : بعض الظواهرات الجليدية في المناطق السهلية : Glaciated

#### Lowland

عندما تنحصر الأنهار الجليدية من المناطق المرتفعة الى السهول المنخفضة يتسع سطح الجليد ويزداد امتداده ويقل سمكه ، ويبدو على شكل غطاء جليدي أو قرشات جليدية واسعة الامتداد . وتعمل هذه الغطاءات الجليدية على تكوين ظواهرات جيومورفولوجية متنوعة يتركز الكثير منها في الأراضي المنخفضة المنسوبة ، وترجع نشأة معظمها الى فعل الإرساب الجليدي . وتنقل هذه الغطاءات الجلاميد والمفتتات الصخرية

وترسبها بصور مختلفة في المناطق السهلية المنخفضة المنسوب ،  
ويتلخص أهم هذه الظواهر في الآتي :

١ - رواسب الطفل الجليدي Boulders :

تعمل الغطاءات الجليدية أثناء انسحابها فوق الأراضي المنخفضة  
للتسوية على احتكاكها بالصخور ونقل الفتات الصخرية إلى مسافات  
طويلة قد تبعد كثيرا عن مراكزها الأصلية . وعندما تتعرض الغطاءات  
الجليدية للانصهار التدريجي تتراكم فرشات الرواسب فوق سطح الأرض  
وتغطي كل المقعرات الثانوية ، ويطلق عليها « رواسب الطفل الجليدي » .  
وتتألف هذه الرواسب من حبيبات صخرية مختلفة الشكل والحجم وهي  
غالبا ما تكون مقشورة ومعدبة الجوانب ، وتمتزج مع بعضها البعض  
بواسطة الرمال الناعمة الثقيلة الحبيبات .

وتعد دراسة رواسب الفتات الصخرية والطفل الجليدي من بين أهم  
العوامل التي تساعد الباحث على معرفة اتجاهات انسحاب الغطاءات  
الجليدية أو بمعنى آخر تحديد المناطق الأصلية التي نشأت فيها ثم الطرق  
التي سلكتها أثناء تقدمها إلى أن أرسبت حمولتها . فتبين مثلا من دراسة  
أنواع الطفل الجليدي في منطقتي لانكشير وفي شرق إنجلترا أنها تتألف  
من مفتتات صخرية مصدرها الأصلي يعود إلى صخور شمال اسكتلندا  
والكتل الجبلية الأركية القديمة في اسكتلندا ، وعلى ذلك استنتج  
الباحثون أن الغطاءات الجليدية كانت ذات مصادر مختلفة ووصلت إلى  
شرق إنجلترا آتية من الشمال والشمال الشرقي أي من مرتفعات  
اسكتلندا .

٢ - الكتل الضالة Erratic Blocks :

قد يعمل الجليد على نقل كتل صخرية لمسافات بعيدة دون أن تتأثر  
هذه الكتل كثيرا بفعل الاحتكاك مع سطح الأرض ، ومن ثم لا تتعرض  
كثيرا للتعرية الشديدة . وبعد تقيثر الجليد إلى الجرد تبعاً لعمليات  
الانصهار تتبقى هذه الكتل الصخرية إما على شكل صخور معلقة تتخلف

فوق السفوح الجبلية العالية ، في أعلى شكل ما يسمى بالكتل الضخمة وذلك عندما تتبعثر الكتل الصخرية للثقولة في بطون الأودية وبوق سطح المناطق السهلية المنخفضة . ومما يؤكد نقل هذه الكتل الصخرية بفعل الجليد ما يلي :

أ - عدم تشابه التكوين الصخري للكتل الضخمة بنوع الصخور المحلية التي تتركز فوقها .

ب - تتشكل الكتل الصخرية الضخمة بالخدوش الكثيفة Striations والتي تظهر بوجه خاص على جوانب الكتل وأسطحها ، وهذه إن دللت على شيء فإنما تدل على أن الكتل الصخرية نقلت لمسافات طويلة بواسطة الجليد

ج - الحجم الهائل لبعض الكتل الصخرية الضخمة والتي لا يمكن أن يحوم بتقلها سوى الجليد الهائل الحجم

### ٣ - الركامات الجليدية . Glacial Moraines

ينقل الجليد كميات ضخمة من الفتات الصخرية وينحصر معظمها في الوادي الجليدي في أن تقوسب بالشكل جيومورفولوجية مختلفة . ويطلق على الرواسب الجليدية التي تحملها الأنهار الجليدية اسم «الركامات الجليدية» وتتألف هذه الرواسب من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم ويتنوع تركيبها الصخري تبعاً لتنوع صخور المناطق التي اشتقت منها والطرق التي سلكتها ، وتبدو عادة على شكل أكوام إرسابية غير متجانسة في الشكل والتركيب الجيولوجي . وتبعاً لموقع هذه الرواسب بالنسبة لأجزاء الوادي الجليدي ، يقسم الباحثون الركامات الجليدية إلى المجموعات الرئيسة الآتية :

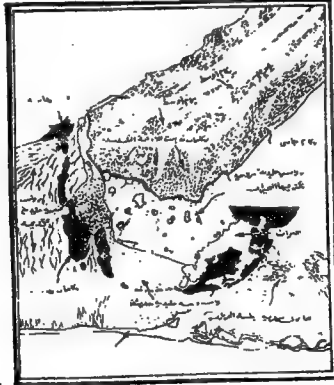
#### أ - الركامات الجانبية Lateral moraine

وهي الرواسب الكثيفة التي تتجمع على جانبي النهر الجليدي تبعاً لاحتكاك الجليد بالصخور البنية على جانبي الوادي ، وتعرض جوانب

الأودية كذلك لعمليات التجمد والانصهار وتفتت الصخور التي تتألف منها ، كما يزداد تجمع الرواسب الجانبية تبعاً لما يسقط فوقها من صخور بفعل عمليات التساقط والانزلاق الأرضي . ومن ثم يختلف سمك رواسب الركامات الجليدية ويتنوع تكوينها الصخري وفقاً لنوع المواد التي تتألف منها تلك الركامات واختلافها من مكان إلى آخر على طول النهر الجليدي . (شكل ١٤٠) .

#### ب - الركام الأوسط Medial moraine

يتكون هذا الركام الجليدي عندما يلتحم ركامان جانبيين مع بعضها البعض نتيجة لاتصال أكثر من مجرى نهر جليدي في نهر جليدي واحد . وينجم عن ذلك تكوين اشربة طولية مستقيمة الامتداد من الرواسب تتوسط المجرى الجليدي .



شكل (١٤٠) بعض الظواهر الجليدية في الأجزاء الدنيا من الأودية الجليدية

#### ج - الركام النهائى End moraine

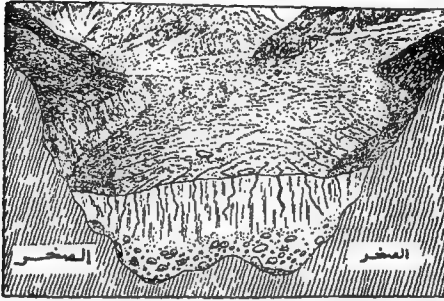
عندما يتعرض النهر الجليدى الى التراجع خلفيا تبعا لانصهار الجليد تتخلف كميات هائلة من الرواسب عند النهايات الهامشية لجراه ولما كان النهر الجليدى يتعرض لذبذبات متعاقبة يرمز بعضها الى حدوث عمليات تقهقر الجليد فى حين تدل الأخرى على حدوث تقدمه ( تبعا لمتعاقب حدوث الفترات الدفيئة والأخرى الباردة ) أطلق البعض على هذه الرواسب اسم الرواسب التراجعية Recessional moraines . وحيث إن تقدم النهر الجليدى ليس مطردا بل يتميز بحدوث ذبذبات متتالية ترمز الى عمليات التقدم تارة والتراجع تارة أخرى ، لذا يحسن تسميتها بالركامات للنهائية الجليدية .

#### د - الركام الأرضى Ground Moraines

يطلق تعبير الركام الأرضى على مجموعة الرواسب الجليدية التى تحتل الأجزاء السفلى من الغطاء الجليدى النهري وتتركز فوق قامه ومن ثم تقع مباشرة فوق سطح الأرض . وتختلف خصائص الرواسب الجليدية وتتنوع أشكالها من مكان الى آخر على طول أجزاء المجرى الجليدى ، إلا أن رواسب الركام الأرضى تتميز بأنها دقيقة الحجم وغير متجانسة التكوين ولا تظهر على السطح إلا بعد انصهار كل أجزاء النهر الجليدى الواقع فوقها ( شكل ١٤١ ) .

#### ٤ - الرواسب الجليدية النهرية : Fluvio-Glacial deposits

عندما تتعرض كل من الأنهار والغطاءات الجليدية للانصهار السريع تبعا لارتفاع درجة الحرارة كما كان الحال فى الفترات غير الجليدية تتكون بعض المجارى المائية خاصة أسفل الغطاءات الجليدية وفى قاع الوادى الجليدى نفسه . وتقوم هذه المجارى المائية بالنور الذى تقوم به الأنهار العادية فى المناطق الأخرى غير الجليدية . ومن ثم تعمل هذه الأنهار على إعادة تشكيل الرواسب الجليدية النهرية وارسابها بشيء من التناسق بحيث تبدو فى صورة شبه طباقية .



شكل (١١١) الوادى الجليدى ومناطق تجمع الركامات الجليدية المختلفة

- لاحظ الركام الأرضى الذى يحتل قاع الوادى الجليدى

وتساهم هذه الرواسب الجليدية النهرية فى بشوء أشكال  
جيومورفولوجية مختلفة على سطح الأرض ومن بينها .

أ. رواسب الأسكرز : Eskers

تتألف رواسب الاسكرز من الحصى ولينات الصخور المحتلطة مع  
الأترية والرمال . وهى تشبه رواسب الطفل الجليدى من حيث التكوين  
الجيولوجى إلا أن الحبيبات الصخرية برواسب الاسكرز تتميز باستدارتها  
وشكلها البيضاضوى أو الكروى وسطحها الأملس مما يدل دلالة واضحة  
على أثر فعل التعرية المائية فيها . وقد تتكون رواسب الأسكرز على شكل  
طبقات يختلف كل منها عن الطبقة التى تقع فوقها أو أسفل منها من حيث  
التكوين الجيولوجى وشكل الرواسب وأحجامها ، وأن دل هذا على شئ  
فإنما يدل على أن رواسب الاسكرز لا ترجع الى فترة واحدة بل أنها  
ترسبت خلال فترات متعاقبة .

وتبدو رواسب الاسكرز فوق سطح الأرض على شكل حواجز تلالية  
إرسابية تتميز بما يلي :

١ - امتدادها الملتوى تبعاً لتشكيلها بالمجاري النهرية الملتوية الممتداد .

٢ - تشابه انحدار جانبيها بحيث تبدو قطاعاتها العرضية متماثلة أو  
متساوية الجوانب Symmetrical .

٣ - تجسم رواسب حواجز الاسكرز فوق بعض الظواهر  
الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض والتي كانت موجودة قبل أن  
تغطي بالجليد . ولذا تعد رواسب الاسكرز تلال وضعية منطبعة - Su-  
perimposed فوق الرواسب الأخرى في المناطق الجليدية .

ب - رواسب الكام : Cams

تبدو رواسب الكام على شكل رواسب تغطي بعض المدرجات التي  
تتمثل على جانبي الوادي الجليدي والذي أعيد تشكيله بفعل المجاري  
النهرية وتختلف رواسب الكام عن رواسب الاسكرز بما يلي :

١ - ظهورها على شكل قباب صغير محدودة الارتفاع ومتناثرة فوق سطح  
الأرض وكثيراً ما تتمثل في هيئة مدرجات إرسابية .

٢ - عدم انتظام عملية ارساب فتات الصخور والحصى فيها كما هو الحال  
في رواسب الاسكرز الأكثر تناسقاً .

٣ - قد تتجمع رواسب الكام فوق أسطح الجليد وخاصة في بعض الحفر أو  
داخل الفتحات الواسعة للشقوق الصخرية الجليدية .

وبعد عمليات تقهقر الجليد قد تظهر بقايا رواسب الكام على شكل  
مدرجات إرسابية جانبية ناشئة عن أثر تراكم الرواسب الجليدية النهرية  
على جانبي النهر الجليدي . وتتألف الرواسب في هذه الحالة من الحصى  
والحصباء المستديرة الشكل . وإذا تصانف أن تجمعت رواسب الكام فوق  
أجزاء ثابتة من الغطاءات الجليدية ، تعرضت الأخيرة للانصهار التدريجي  
، ترتفع رواسب الكام إلى أعلى وتظهر شكل قباب تلالية مستديرة الشكل

#### ٥ - الكتبان الجليدية : Drumline

يطلق الباحثون تعبير الكتبان الجليدية على تلك المجموعة من الرواسب الجليدية التي تظهر على سطح الأرض على شكل تلال كثيبيية بعد عملية تآكل الجليد وتراجع خلفها . وتتألف هذه التلال من رواسب جليدية قوامها الطفل والمفتتات الصخرية المعروفة باسم Till .

ويتضح عند دراسة أشكال هذه المفتتات أثر الدور الذى تقوم به فعل للمياه فى إعادة تشكيل أسطحها المستوية المساء ، وشكلها البيضاوى ، وكما هو الحال فى رواسب الاسكرز فإن رواسب الكتبان الجليدية تكونت كذلك أسفل الجليد بفعل المياه المتصهرة . وتتكون الكتبان الجليدية عادة فى مجموعات تحتل مساحات واسعة الامتداد تتميز المنطقة التى تتكون فيها بسطح موج . وحيث أن الكثيب الجليدى تنفجر جدره فى الرواسب العليا لسطح الأرض ، بينما تظهر أعاليه البيضاوية الشكل فوق سطح الأرض ، لذا أطلق الباحثون على سطح الأرض الذى تشغله هذه الكتبان الجليدية اسم « سطح سلال البيض » Basket of Eggs Relief . وتختلف الكتبان فيما بينها من حيث الحجم والارتفاع ، ويتراوح متوسط ارتفاع الكثيب الجليدى الواحد من ١٠ الى ١٠٠ مترا فوق مستوى سطح الأرضى المجاورة .

## الباب الرابع

### بعض الأشكال والظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض

الفصل التاسع : توزيع اليابس والماء وتكوين القارات في ضوء  
نظرية الألواح ( الصفائح ) الجيولوجية .

الفصل العاشر : الكتلة القارية المستقرة ومناطق الضعف  
الجيولوجية غير المستقرة .

الفصل الحادي عشر : الجبال والتلال والهضاب

الفصل الثاني عشر : السهول

الفصل الثالث عشر : الجزر

الفصل الرابع عشر : البحيرات

## الفصل التاسع

### توزيع اليابس والماء

#### وتكوين القارات فى ضوء نظرية الألواح (الصفائح) الجيولوجية

ظل سكان العالم القديم يجهلون الكثير عن حقيقة الامتداد الفعلى للمسطحات المائية على سطح الكرة الأرضية وبقي الحال كذلك حتى بداية الكشوف الجغرافية فى القرن الخامس عشر للميلادى . فقبل فترة الكشوف الجغرافية كان البحر المتوسط هو قلب العالم المائى ، كما كان يظن بأن الهوامش الشرقية للمحيط الأطلسى هى عبارة عن البحر المحيط اى الذى يحيط باليابس . وكان من نتائج الكشوف الجغرافية وخاصة رحلات كريستوفر كولومبس الى أمريكا الوسطى وجزر الهند الغربية منذ عام ١٤٩٢ ، ورحلات بالبوا Balboa فى عام ١٥١٣ ، وماجلان Magellan فى عام ١٥١٩ ، وجيمس كوك (١٧٦٩ - ١٧٨٠) وتاسمان فى عام ١٦٤٢ فى المحيط الهادى ، أدرك سكان العالم القديم منذ نهاية القرن الخامس عشر للميلادى الاتساع الهائل للمسطحات المائية والامتداد الفعلى للمحيطين الأطلسى والهادى . ومن ثم أكد الأستاذ لونج Long فى عام ١٩٤٢ بأن مساحة اليابس تعد بسيطة جدا إذا ما قورنت بمساحة المسطحات المائية التى تبلغ نسبتها ٧١٪ من إجمالى سطح الكرة الأرضية ومن الدراسة التفصيلية لأعماق البحار والمحيطات وتوزيعها الجغرافى فوق سطح الكرة الأرضية يمكن ملاحظة الآتى :

١ - من حيث الامتداد الرأسى للمسطحات المائية أو بمعنى آخر العلاقة بين سمك الغلاف المائى وبين سمك هضور كوكب الأرض يلاحظ أن المسطحات المائية عبارة عن غلاف رقيق السمك جدا حيث يبلغ متوسط سمكه نحو ٢,٤ ميل اى ما يعادل ١ : ١٦٨٠ من متوسط نصف قطر الكرة الأرضية .

٢ - من حيث الامتداد الأفقى للمستطحات المائية لو بمعنى آخر التوزيع الجغرافى العام للمستطحات المائية بالنسبة لتوزيع اليابس على سطح الأرض يلاحظ، أن جملة مساحة المستطحات المائية تبلغ نحو ١٠٣٦١,٠٥٩ كم<sup>٢</sup> ( ٣٦١ مليون كم<sup>٢</sup> ) أى نحو ٧٠,٨٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . ويمثل المحيط الهادى وحده نحو  $\frac{1}{3}$  مساحة سطح الكرة الأرضية ، بينما تبلغ مساحة المحيطين الأطلسى والهندى نحو ٧/١,٥/١ مساحة الكرة الأرضية على التوالى (١) .

٣ - تبين للعلماء بأن هناك كذلك اختلافات جوهريه للتوزيع الجغرافى بين اليابس والمستطحات المائية فى النصفين الشمالى والجنوبى للكرة الأرضية . فتبلغ مساحة المستطحات المائية فى النصف الشمالى ١٠٣١٥٤,٦٩٥ كم<sup>٢</sup> أى نحو ٦٠,٧٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية . ومن ثم تبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء ١٠٣١٠٠,٢٨١ كم<sup>٢</sup> أى نحو ٣٩,٣٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، أما إذا انتقلنا إلى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية فيلاحظ أن مساحة المستطحات المائية تبلغ نحو ١٠٣٢٠٦,٣٦٤ كم<sup>٢</sup> أى نحو ٨٠,٩٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية ، وتبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء نحو ١٠٣٤٨,٦١١ كم<sup>٢</sup> أى نحو ١٩,١٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية .

٤ - عند تقسيم سطح الكرة الأرضية إلى إشرطة عرضية بحيث يبلغ اتساع كل منها خمس دوائر عرضية فيلاحظ زيادة إتساع المستطحات المائية فى العروض القطبية حيث تغطى البحار كل أجزاء سطح كوكب الأرض الواقعة فيما بين ٨٥° - ٩٠° . وتبلغ نسبة مساحة المطحات المائية الواقعة فيما بين دائرتى عرض ٨٠° - ٨٥° شمالا نحو ٨٥,٢٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض فى هذه العروض . بينما يزداد اتساع اليابس فى نصف الكرة الشمالى خاصة فيما بين دائرتى عرض ٤٥° - ٧٠° شمالا .

(١) حسن أبو العينين : دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات ، الطبعة الأولى -

بيروت - ١٩٦٧ والطبعة التاسعة - الإسكندرية (١٩٩٦) .

ويتضح أن نسبة مساحة اليابس فيما بين دائرتي عرض ٦٥ - ٧٠ شمالا تبلغ نحو ٧١,٢٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض في هذه العروض . أما بالنسبة لنصف الكرة الجنوبي فيثبت أن مساحة المسطحات المائية تكاد تفوق تلك الخاصة باليابس عند جميع العروض المختلفة اللهم إلا فيما بين دائرتي عرض ٧٠ - ٩٠ جنوبا فهما لامتداد القارة القطبية الجنوبية .

ويوضح الجدول الآتي التوزيع الجغرافي للمسطحات المائية والأرض اليابسة في النصفين الجنوبي والشمالي للكرة الأرضية ، والعلاقة بين نسبة اليابس والماء إلى جملة مساحة سطح كوكب الأرض عند كل شريط عرضي يبلغ اتساعه خمس دوائر عرضية :

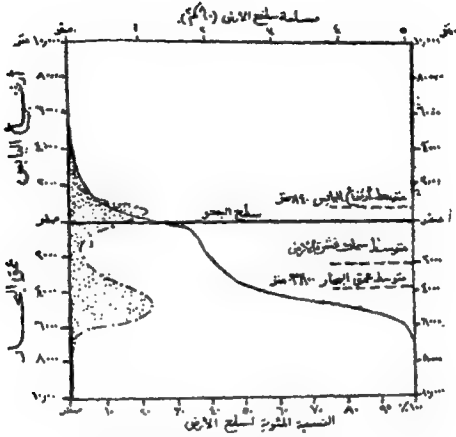
دائرة عرض	النصف الشمالي من الكرة الأرضية		النصف الجنوبي من الكرة الأرضية	
	نسبة مساحة المسطحات المائية٪	نسبة مساحة اليابس ٪	نسبة مساحة المسطحات المائية٪	نسبة مساحة اليابس /
٨٥ - ٩٠	١٠٠	-	-	١٠٠
٨٥ - ٨٠	٨٥,٢	١٢,٨	-	١٠٠
٨٠ - ٧٥	٧٧,١	٢٢,٩	١٠,٧	٨٩,٣
٧٥ - ٧٠	٦٥,٥	٣٤,٥	٣٨,٦	٦١,٤
٧٠ - ٦٥	٢٨,٧	٧١,٣	٧٩,٥	٢٠,٥
٦٥ - ٦٠	٣١,٢	٦٩,٨	٩٩,٧	٠,٣
٦٠ - ٥٥	٤٥,٠	٥٥,٠	٩٩,٩	٠,١
٥٥ - ٥٠	٤٠,٧	٥٩,٣	٩٨,٥	٠,٥
٥٠ - ٤٥	٤٣,٨	٥٦,٢	٩٧,٥	٢,٥
٤٥ - ٤٠	٥١,٢	٤٨,٨	٩٦,٤	٣,٦
٤٠ - ٣٥	٥٦,٨	٤٣,٢	٩٣,٤	٦,٦
٣٥ - ٣٠	٥٧,٧	٤٢,٣	٨٤,٢	١٥,٨
٣٠ - ٢٥	٥٩,٦	٤٠,٤	٧٨,٤	٢١,٦
٢٥ - ٢٠	٦٥,٢	٣٤,٨	٧٥,٤	٢٤,٦
٢٠ - ١٥	٧٥,٨	٢٩,٢	٧٦,٤	٢٣,٦
١٥ - ١٠	٧٦,٥	٢٣,٥	٧٩,٦	٢٠,٤
١٠ - ٥	٧٥,٧	٢٤,٢	٧٦,٩	٢٣,١
٥ - ٠	٧٨,٦	٢١,٤	٧٥,٩	٢٤,١
للمجموع	٦٠,٧	٣٩,٣	٨٠,٩	١٩,١

٥ - قد يقسم سطح الأرض أيضاً من حيث توزيع اليابس والماء الى نصفين : غربي وشرقي . وفي النصف الغربي يشيع وجود الماء إذ تصل نسبته الى نحو ٨١,٢٪ في حين تقل نسبته في القسم الشرقي الى نحو ٥٢,١٪ . ومن ثم يمكن القول بأن الغطاءات المائية تحتل مساحة واسعة تتمثل في غرب الكرة الأرضية وجنوبها ، في حين يتركز اكبر قسم من الكتل اليابسة في شرق الأرض وشمالها ، وليس غريباً أن يطلق بعض العلماء على كوكب الأرض تعبير « الكوكب المائي » .

٦ - وهناك محاولة أخرى لتقسيم سطح الكرة الأرضية الى شطرين أحدهما يشتمل على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى « بالنصف القاري » ويقع مركزه حول مصب نهر اللوار في غرب فرنسا ، وفيه يتركز نحو ٨٣٪ من المساحة الكلية للكتل القارية . أما الثاني فيشتمل على المساحة الكبرى من للمياه ويسمى لذلك « بالنصف المائي » ويقع مركزه عند جزر الانتيبود Antipodes الى الجنوب الشرقي من نيوزيلند ، وفيه تبلغ نسبة مساحة للمياه ٩٠,٥٪ .

٧ - وقد تبين أن أعماق المحيطات اكبر بكثير من ارتفاع اليابس . فبينما يبلغ متوسط ارتفاع اليابس نحو ٨٤٠ متر ، فإن متوسط عمق المحيطات تصل الى نحو ٣٨٠٠ متر . ولو فرض أن تلاشت تضاريس قشرة الأرض واتخذت شكل سهل مستوى تماماً ، لأصبح في إمكان المستطحات المائية الحالية أن تغطي سطح الكرة الأرضية بهجر واسع الامتداد يبلغ متوسط عمقه نحو ٨٨٠٠ قدم . هذا ويلاحظ أن القسم الكبير من اليابس يقع على مناسيب قليلة الارتفاع من سطح البحر حتى عمق ١٠٠٠ م ، في حين يتبين أن القسم الكبير من البحار يقع على أعماق بعيدة جداً تتراوح من ٤٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ متر (شكل ١٤٢) .

ومن دراسة المناسيب المختلفة لأجزاء اليابس ، يتبين أن أراضي اليابس الواقعة بين منسوب ٦٠٠ الى ٢٠٠٠ قدم تبلغ مساحتها نحو ٢٦ ميلاً مربعاً وتبلغ نسبتها نحو ١٣٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . أما تلك المناطق التي يزيد ارتفاعها عن ١٢٠٠٠ قدم ، فهذه تقل نسبة



شكل (١٤٢) المنحنى الهيدروسفرائى لتضرس سطح الأرض .

مساحتها عن ١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية كما يتضح من الجدول الآتى :

المتسوپ بالأرقام	مساحة اليابس عند هذا النسوب (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة الى جملة مساحة سطح تكوين الأرض
أكثر من ١٢٠٠٠	٢	١٪
من ٦٠٠٠ - ١٢٠٠٠	٤	٢
من ٣٠٠٠ - ٦٠٠٠	١٠	٥
من ٦٠٠ - ٣٠٠٠	٦٢	١٣
من صفر - ٦٠٠	١٥	٨
المجموع	٥٧	٢٩٪

أما بالنسبة للمستطحات المائية فيلاحظ أن الأعماق التي تقع فيما بين الساحل وعمق ٦٠٠ قدم لا تمثل أكثر من ٥٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . أما تلك الأعماق التي تقع فيما بين عمق ١٢٠٠ إلى ١٨٠٠ قدم فهذه تمثل نحو ٤١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية . ويوضح الجدول الآتي مساحة أرضية البحار والمحيطات عند الأعماق المختلفة ، ونسبة هذه المساحة إلى المساحة الكلية لسطح كوكب الأرض :

الأعماق بالأقدام	مساحة أرضية البحار عند هذه الأعماق (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة إلى جملة مساحة سطح كوكب الأرض
صفر - ٦٠٠	١٠	٥٪
٦٠٠ - ٢٠٠٠	٧	٣
٢٠٠٠ - ٦٠٠٠	٥	٢
٦٠٠٠ - ١٢٠٠٠	٢٧	٢٧
١٢٠٠٠ - ١٨٠٠٠	٨١	٨١
أكثر ١٨٠٠٠	١٠	١٠
الجملة	١٤٠	٪٧١

٨ - تتألف المستطحات المائية أساساً من ثلاثة محيطات كبرى هائلة الحجم هي : المحيط الهادئ ، والمحيط الأطلسي ، والمحيط الهندي ، وتتصل هذه المحيطات ببعضها البعض عن طريق فتحات واسعة . ويقع أكثر من ٧٠٪ من مساحة أرضية هذه المحيطات فيما بين خطي عمق ٢٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ متر . ويتمثل أكبر المستطحات المائية المعروفة عمقاً بالمحيط الهادئ وخاصة في خنادقه المحيطية الكبرى Deep-sea Trenches كما هو الحال في خنادق مارينا (١١,٥٠٠ م) وتونجا (١٠,٨٠٠ متر) ، وكوريل (١٠,٥٤٠ متر) ، وميندناو (١٠,٠٣٠ متر) . أما الأعماق الضحلة والتي تقع فيما بين خط الساحل حتى عمق ٢٠٠ متر ، فلا تزيد مساحتها في المحيط الهادئ عن ٧٪ وفي المحيط الهندي عن ١٠٪ وفي المحيط الأطلسي

عن ١٣٪ بالنسبة للمساحة الكلية الخاصة بكل محيط ، ويوضح الجدول  
الآتى مساحة أراضي كل من محيطات العالم عند الأعماق المختلفة بالنسبة  
للمساحة الكلية لكل محيط :

الأمعاق (متر)	الأطلسي	الهادي	الهندي	محيطات العالم
صفر - ٢٠٠	٥,٦ ٪	١,٧ ٪	٢,٢ ٪	٢,١ ٪
٢٠٠ - ١٠٠٠	٤,٠	٢,٢	٢,٧	٢,٨
١٠٠٠ - ٢٠٠٠	٣,٦	٢,٤	٢,١	٢,٤
٢٠٠٠ - ٣٠٠٠	٧,٦	٥,٠	٧,٤	٦,٢
٣٠٠٠ - ٤٠٠٠	١٩,٤	١٩,١	٢٤,٤	٢٠,٤
٤٠٠٠ - ٥٠٠٠	٣٢,٤	٣٧,٧	٢٨,٩	٣٦,٦
٥٠٠٠ - ٦٠٠٠	٢٦,٦	٢٨,٨	١٩,٩	١٦,٢
٦٠٠٠ - ٧٠٠٠	٠,٨	١,٨	٠,٤	١,٢
أكثر من ٧٠٠٠	-	٠,٣	-	٠,١

### نشأة المحيطات وتفسير اختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء

حاول العلماء تفسير اختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء ونشأة  
الأحواض المحيطية نفسها ، واقترحوا في هذا الشأن ما يزيد على خمسة  
عشرة نظرية مختلفة ، حاولت كل منها إيضاح العوامل التي شكلت  
التوزيع الحالي للبحار واليابس فوق سطح الكرة الأرضية . وإن دل تعدد  
تلك النظريات والافتراضات على شيء فإنما يدل على أنه لم يقبل حتى  
الآن أى فرض بصورة نهائية ومرضية .

فقد اعتقد كلفن Kelvin بأن القارات كانت في الأصل عبارة عن كتل قديمة Nuclear Clots متناثرة في الكتل الغازية الهائلة الحجم التي كانت تتألف منها الأرض عند بداية ميلادها . أما الأستاذ سولاس Sollas ، فقد أوضح بأن سطح الأرض لم يكن مستويا عند بداية نشأته بل كان يتموج على شكل ثنيات محدبة تمثل القارات ، وأخرى مقعرة تمثل أحواض البحار ، ويعزى تكوين هذه الثنيات المختلفة الى تأثير الضغط الجوي الشديد في صخور قشرة الأرض المرة (١) .

أما أصحاب نظرية الكويكبات Planetesimal hypthesis فقد رجحوا بأن الأشكال التضاريسية الكبرى لسطح الأرض إنما هي وليدة التساقط غير المتساوي للشهب والنيازك فوق سطح الأرض عند بداية ميلادها . أو بمعنى آخر فقد يتجم عن شدة تساقط الشهب وتجمع موادها بناء مناطق مرتفعة هي القارات ، أما تلك الأجزاء من سطح قشرة الأرض والتي لم يتجمع فوقها الكثير من مواد الشهب والنيكرك فصارت منخفضة المنسوب وحوضية الشكل ، وأصبحت فيما بعد تمثل الأحواض البحرية الأولية .

أما الأستاذ لابوراث Lapworth, 1892 ، فقد اعتقد أنه عند بداية ميلاد كوكب الأرض وتعرض باطنه وقشرته لبرودة التدريجية ، تقلصت مواد باطنه وانكمشت بدرجة أكبر من انكماش القشرة الخارجية للأرض ، وذلك لأن باطن الأرض أشد حرارة من صخور قشرة الأرض . وعلى ذلك هبطت أجزاء من قشرة الأرض إلى أسفل لتتركز على مواد باطن الأرض المتقلصة ، في حين تموجت القشرة في كثير من أجزاء سطح الأرض . ويعتقد لابوراث بأنه نتج عن هذه العملية تموج سطح قشرة الأرض مثل تموج مياه المحيطات وأصبحت للمناطق المحدبة تمثل القارات والأخرى المقعرة من القشرة الأرضية تمثل البحار والمحيطات .

---

(1) Wooldridge, S. and Morgan, R.S., " An outline of geomorphology, " London, (1961), p.32.

واشار لابورات بأن تظهر تلك الثنيات المحدبة الكبرى هي ثنية الأمريكتين ويقع في داخل هذه الثنية المحدبة بعض المناطق المقعرة الأقل حجما والتي أدت الى تكوين سهول حوضية منخفضة المنسوب كما هو الحال بالنسبة لسهل لابلاتا في أمريكا الجنوبية وسهول الهاري في أمريكا الشمالية وتتمثل أظهر الثنيات المقعرة الكبرى في ثنية المحيط الأطلسي للمقعة ، وهي أيضا تأثرت بثنيات محدبة ثانوية أدت الى تكوين الحواجز المحيطية التي تتمثل اليوم فوق أرضية المحيط الأطلسي ولكن لا تتفق آراء لابورات مع مبادئ علوم الجيولوجيا ، ولا يمكن قبولها علميا .

وقد حاول الأستاذ لاف Love في عام ١٩٠٧ ، تعديل آراء لابورات ، وبذل جهدا كبيرا لتفسير أسباب تقلص مواد الأرض وتكوين الثنيات المحدبة والمقعرة والتي أدت بدورها الى تكوين القارات والمحيطات . واعتقد لاف ، بأن مركز قوة الجاذبية الأرضية لا يتلق مع المركز الهندسي لباطن الأرض ، وينجم عن ذلك عمليات شد أجزاء من قشرة الأرض نحو مركز قوة الجاذبية الأرضية . وتؤدي هذه العمليات الأخيرة بدورها الى شد بعض أجزاء من سطح الأرض نحو الباطن مكونة أحواض مقعرة كبرى شغلتها المحيطات ، بينما بقيت أجزاء سطح الأرض في مواقعها الأصلية وأصبحت مرتفعة المنسوب وتكونت منها القارات فيما بعد .

ومن بين أظهر النظريات التي قدمت في هذا الصدد تلك المعروفة باسم النظرية التقرصية ( أو الهرم الثلاثي ) والتي وضعها الباحث لوثيان جرين عام ١٨٧٥ ، ونظرية زحمة القارات التي وضعها « فاجر » في عام ١٩١٤ ، ونظرية انسلاخ المقعر عن الأرض والتي رجحها تشارلس داروين في عام ١٨٧٨ واكدها كثير من العلماء من بعده ، ونظرية الصفائح أو الكواح الجيولوجية التي اقترحها العلماء منذ نحو عشرين عاماً مضت .

---

(١) حسن أبو العينين : دراسات في جغرافية البحار والمحيطات - ، بيروت - ١٩٦٧ والطبعة التاسعة - الإسكندرية (١٩٩٦) .

#### ١ - النظرية التتراهدية ( الهرم الثلاثي ) Tetrahedral Hypothesis

لاحظ لوثيريان جرين في عام ١٨٧٥ بأن هناك اختلافا كبيرا للتوزيع الجغرافي بين اليابس والماء فوق أجزاء سطح الأرض المختلفة ، كما تتميز الأشكال العامة لأبعاد القارات والمحيطات بخصائص مميزة ، ويمكن أن نلخص مشاهداته في الآتي :

ز- يتركز معظم اليابس في النصف الشمالي من الكرة الأرضية في حين يتركز معظم الغطاء للمائي في النصف الجنوبي منها .

ب- ظهور معظم القارات على شكل مثلثات مختلفة المساحة تتجه رؤوسها جميعا نحو الجنوب ، فتبدو قارة أمريكا الشمالية على شكل مثلث تتمثل رأسه في أمريكا الوسطى وقاعدته الساحل الشمالي لكنها ، وتبدو قارة أمريكا الجنوبية على شكل مثلث تظهر رأسه عند جزيرة تيراديلغويجو وتمتد قاعدته على طول الساحل الشمالي للبرازيل ، وتبدو قارة إفريقيا على شكل مثلث رأسه عند منطقة رأس الرجاء الصالح ، ويعد ساحلها الشمالي قاعدة لهذا المثلث ، وتظهر قارة أوراسيا على شكل مثلث واسع الامتداد بحيث تمتد قاعدته على طول الساحل الشمالي لأوراسيا ، ورأسه بالقرب من جزيرة تسمانيا ، ولاحظ جرين كذلك أن محيطات العالم تتخذ جميعا شكلا قريبا من شكل المثلث وخاصة المحيط الهادئ الذي يقع رأسه عند مضيق بيرنج .

ج- تقابل اليابس والماء في نصف الكرة الأرضية ، إذ نجد تقريبا أن كل جزء من اليابس ، صغر لم كبير يقابله مسطح مائي على الجانب المقابل له من الكرة الأرضية . وهناك حالتان فقط تشذ عن هذه القاعدة وتتمثل الأولى في كتلة بتاجونيا ( جنوب الأرجنتين ) التي تقابل قسما يابسا من شمال الصين ، والثانية هي اليابس النيوزيلندي الذي يواجه قسما من أرض شبه جزيرة أيبيريا .

د- زيادة اتساع المحيط الهادئ ( ١/٣ مساحة سطح الكرة الأرضية ) وظهوره على شكل مثلث هائل الحجم ، وتشكيل قاعه بصخور السيلما .

وعلى ذلك اعتقد جرين بأنه عندما بدأ كوكب الأرض يتعرض لعمليات الهودة التدريجية ، وتقلص باطن الأرض ، أدى ذلك الى ظهور السطح الخارجى للقشرة الأرضية على صورة المنتشور الثلاثى أو الشكل التتراهيدى بحيث احتلت مناطق اليابس أو القارات الأجزاء البارزة من اليابس المنتشور ، فى حين شغلت المحيطات والبحار أسطح المنتشور للمستوية والمنخفضة المنسوب .

وقد أكدت الدراسات الهندسية كذلك بأن الجسم الذى يفقد حرارته ينكمش ويتقلص وسرعان ما يتخذ شكلا يتناسب مع عمليات انكماش مواده . ويعد الشكل التتراهيدى ( الهرم الثلاثى ) اقرب هذه الأشكال حيث يتمثل فوقه مساحات واسعة على الرغم من صغر حجمه <sup>(١)</sup> . غير انه يلاحظ بأن هذه النظرية لا تتفق فى جوهرها مع معلوماتنا الحديثة عن عمليات توازن القشرة الأرضية . بل وحتى إذا كانت الأرض فى مراحل نشأتها الأولى على شكل الهرم الثلاثى ، فكان لابد وأن يتحول شكلها بالتدريج الى الشكل الكروى والمنبعج نسبيا بالمناطق الاستوائية تبعاً لدوران الأرض حول محورها ولعامل التوازن .

وقد حاول الأستاذ جريجورى W. Gregory تحقيق نظرية لوثيران جرين التتراهيدية ، وأكد بأن هذه النظرية تعد أنسب الافتراضات التى تفسر الأشكال العامة للقارات والمحيطات من جهة وأسباب تباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء فى نصف الكرة الأرضية من جهة أخرى .

## ٢ - نظرية زحزة القارات : Continental Drift Theory

لاحظ كثير من العلماء أوجه الشبه الكبير بين السواحل الغربية لقارة أوروبا وأفريقيا وبين السواحل الشرقية للأمريكتين وخاصة من حيث الشكل العام للسواحل حيث إنها تبدو وكأنها كانت ملتصقة ببعضها البعض فى فترة جيولوجية سابقة ثم انفصلت عن بعض فى فترة

(1) Wooldridge S. W., Morgan, K. S. ( An outline of geomorphology ) , London, (1961) P.41.

جيوولوجية لاحقة . وأكد هذه الآراء تشابه التركيب الجيولوجى والبنية الجيولوجية والمحفريات والمناخ القديم فى كل من القارات التى تقع على جانبيه المحيط الأطلسى .

وختلف نظرية زحمة القارات عن النظريات التقليدية القديمة التى رجحها كل من كلفن Kelvin وسولاس Sollas ، ولاپورث Lapworth ولاف Love من قبل ، ذلك لأن هذه النظريات القديمة افترضت تكوين القارات والبحار والمحيطات نتيجة لتزحزح بعض اجزاء من سطح الأرض رأسياً ، وهذه آراء من الصعب قبولها علمياً ، ومن البعيد حدوثها فى قشرة الأرض الرقيقة السمك ، هذا فضلاً عن اختلاف التركيب الجيولوجى العام للقارات التى تتألف من صفور السيل من جهة ولأرضية المحيطات التى تتألف من صفور السيل من جهة أخرى . أما نظرية زحمة القارات فهى تفسر توزيع اليابس والماء على أساس حدوث زحمة أفقية فى اجزاء اليابس القديم وتباعد اجزاء اليابس بعضها عن البعض الآخر نتيجة لهذه الزحمة الأفقية بعد أن حملت كل من الاجزاء المتزحزحة بعض الأثلة الجيولوجية والمحفريات والمناخية التى تدل على مظهرها الأسمى ومراحل تطورها الباليوجرافى .

ويعد الأستاذ فرنسيس بيكون Francis Bicon أول من اشار الى تشابه سواحل المحيط الأطلسى الشرقية والغربية فى عام ١٦٢٠ ، وأكد بأنها ربما كانت ملتصمة مع بعضها البعض فى فترات جيولوجية سابقة لأن سواحلها تدخل فى بعضها تماماً ، وتكاد تكون جميعاً قارة كبيرة كانت ملتصمة الأجزاء خلال فترة جيولوجية ما .

وقد اعتقد الأستاذ دانا Dana فى عام ١٨٤٦ بأن الشكل العام للقارات والأحواض المحيطية ظل كما هو خلال الفترات الجيولوجية المختلفة ، وأن حدث تغيير فإن ذلك كان يقتصر على المناطق الهامشية للبحار وإطراف القارات ، ولم يؤثر ذلك كثير فى تغيير التوزيع الجغرافى لليابس والماء منذ العصر الأركى حتى الوقت الحاضر . أما الأستاذ البريطانى البيولوجى

ادوارد فوربس E. Forbes فقد عارض آراء دانا في عام ١٨٥٠ ، وأكد بأن هناك كثيرا من العائلات والأنواع النباتية والحيوانية البحرية ممثلة في مناطق مختلفة من أرضية البحار والمحيطات ولا يمكن تفسير توزيعها الجغرافي إلا نتيجة لحدوث زهزحة في أرضية البحار والمحيطات ، ونفس الحال فيما يتعلق بتفسير بعض الحفريات التي تتمثل في صخور القارات على جانب المحيط الأطلسي ، وتنتمي هذه الحفريات الى عائلات حيوانية ونباتية واحدة ومن الصعب جدا أن تكون قد عبرت المسطحات المائية بأية وسيلة أخرى وإن إنتشارها لم يحدث سوى بزهزحة القارات .

إما الأستاذ الفرنسي أنطونيو سنيذر Antonio Snider فقد أوضح في كتابه المشهور في عام ١٨٥٨ <sup>(١)</sup> بأن هناك كثيرا من أوجه الشبه بين السواحل الشرقية والسواحل الغربية للمحيط الأطلسي من الناحية الجيولوجية وتكاد تتداخل هذه السواحل فيما بينها لتكون قارة قديمة هائلة الحجم . وأوضح سنيذر كذلك بأن هذه القارة القديمة تعرضت لزهزحة أفقية وانفصلت أجزائها عن بعضها البعض خلال العصر الكربوني ، ورسم خرائط توضيحية لشكل القارة القديمة قبل عملية زهزحتها الأفقية وبمد حدوث هذه العملية . وقد أعجب الجيولوجي البريطاني بيبر Pepper بأراء سنيذر الفرنسي ، وحقق هذه الآراء فيما بعد وذلك خلال عام ١٨٦١ <sup>(٢)</sup> . وعرض «بيبر» من جديد الخرائط الباليوجرافية التي افترضها سنيذر من قبل ، ولكن لم يهتم العلماء بهذه الآراء التي بدت غريبة خلال هذه الفترة من الزمن <sup>(١)</sup> .

ثم أعاد الباحث الأمريكي تايلور F. B. Taylor هذه الافتراضات القديمة الى الأذهان من جديد وذلك منذ عام ١٩٠٨ . وقد حاول تايلور في دراساته تفسير أشكال السلاسل الجبلية الكبرى واختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء فوق سطح الأرض . ولاحظ تايلور ما يلي :

(1) Antonio Snider , "La Création et ses myeteres dvoiles " , Paris, 1858.

(2) Pepper, G. H., "Playbook of metals " , London, 1861.

أ- كانت تقع عند القطب الشمالي وحوله قارة كبرى قديمة تعرف باسم قارة لوراسيا Laurasia . وتزحزحت هذه القارة أفقيا وامتدات من القطب الشمالي صوب المناطق الاستوائية من الأرض . وقد شبه تايلور حركة زحف القارة القديمة ، كمثال زحف الكتل الجليدية البلايستوسينية من القطب الشمالي صوب الجنوب .

وأوضح تايلور بأن زحف قشرة الأرض لا يشبه زحف انسيابات المياه مثلا ، بل لابد وأن تنتفي هذه القشرة وتتمتع في بعض المواقع وخاصة عند أطرافها الأمامية بفعل عمليات الشد والجذب ، وينجم عن ذلك تكوين سلاسل المرتفعات . أو بمعنى آخر فإن نشأة السلاسل الجبلية الممتدة من الغرب إلى الشرق في أوروبا تعزى إلى زحزحة قارة أوراسيا من الشمال إلى الجنوب .

ب- وفي نصف الكرة الجنوبي اعتقد تايلور بأنه كانت هناك قارة قديمة هي قارة جندوانا تقع بالقرب من مركز القطب الجنوبي . وتعرضت هذه القارة لعمليات الزحزحة الأفقية واتجهت هي الأخرى من القطب الجنوبي جنوبا نحو المناطق الاستوائية شمالا ، ونجم عن هذه الحركة تكوين سلاسل جبلية عرضية .

ج- نتيجة لزحزحة القارات تعرضت بعض أجزائها لصدوع كبرى وأدى ذلك إلى فصل أجزائها الغربية وزحزحتها أفقيا نحو الغرب . وهكذا انفصلت الأمريكتان عن قارتي لوراسيا الشمالية وجندوانا الجنوبية ، وتكوّنت السلاسل الجبلية الطولية التي تمتد من الشمال إلى الجنوب في الأمريكتين .

غير أنه من أهم نقاط الضعف في نظرية تايلور أنه أوضح بأن القمر عند بداية انفصاله عن الأرض كان قريباً جداً منها ، وعلى ذلك نتج عن جاذبية القمر الشديدة ، شد قارات السيلال ( لوراسيا وجندوانا ) من

(1) Wegener, A. "The origin of Continents and Oceans". Methuen; London "1924".

مواقعهما الأصلية عند المناطق القطبية الى المناطق الاستوائية ومن الصعب قبول هذه الافتراضات علمياً بقوة جذب القمر للأرض لا يمكن أن تتضمن تحرك القارات بالشكل الذى وصفه تايلور .

هذا ولم ينجح تايلور فى تفسير نشأة المرتفعات الجبلية الكبرى التى تكونت قبل العصر الكريتاسى ، وهو العصر الذى انفصل فيه القمر عن الأرض حسب أرائه ، حيث أن هناك كثيراً من السلاسل الجبلية القديمة جيولوجياً ( الكارنية والكاليدونية والهرسينية ) تكونت فوق سطح الأرض قبل العصر الكريتاسى .

وقد ساعدت آراء الأستاذ تايلور الأمريكى ظهور الكثير من النظريات المختلفة التى حاولت جاهدة تفسير عملية الزحزحة الأفقية للقارات ، وتباين التوزيع الجغرافى للمياه والماء . ومن أظهر هذه الدراسات الحديثة تلك التى قام بها كل من الجيولوجى الألمانى الفريد فجنر Alfred Wegener فى عام ١٩١٤ وكتابات الباحث دى توى Du Toi فى عام ١٩٢٧ من نظريته فيما يتعلق بتحول القارات وزحزحتها <sup>(١)</sup> ونظرية الصفائح أو الأوج الجيولوجية التى ظهرت حديثاً ومن ثم سيشير الكاتب إليها بشيء من التفصيل .

## آراء فجنر

بدأ فجنر ينشر آراءه عن زحزح القارات أفقياً منذ عام ١٩١٢ ، ثم دعم هذه الآراء بعرض لكثير من الأدلة الجيولوجية والباليوجغرافية والصخرية فى كتاباته عام ١٩١٥ <sup>(١)</sup> وفى عام ١٩٢٢ . ومما ساعد على شيوع أفكاره فى أنحاء العالم ترجمة كتاباته الى اللغة الإنجليزية فى عام ١٩٢٤ <sup>(٢)</sup> .

واعتقد فجنر بأن يابس سطح الكرة الأرضية كان متجمعا فى كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم بانجاليا Pangaea وكان المحيط الشاسع

(1) Du Toit "Our Wandering Continents" 1937.

يحيط بتلك الكتلة من جميع الجوانب . وقد أوضح بأن كتلة بانجايا حتى بداية العصر الكربوني كانت تتألف من قارات كبرى تتمثل في كتلة أوراسيا ( قارة انجارا ) والكتلة القطبية والكتدية ( قارة أركتس ) ، والكتلة الأفريقية الجنوبية (قارة جندوانا) ، وكان يفصل بينهما بحر تيثس Tethys الجيولوجى القديم .

واعتقد فجنر بأن كتلة بانجايا انقسمت وتجزعت ومما يؤكد ذلك انتشار بقايا رواسب طبقات الفحم في أوروبا وأمريكا الشمالية والتي تكونت تحت ظروف المناخ الحار الرطب وكذلك التوزيع الجغرافى لرواسب العصر الجليدى الكربونى في مناطق تعتبر مدارية المناخ اليوم . كما أشار فجنر كذلك بأن موقع القطب الجنوبي للأرض خلال العصر الكربونى الأعلى لم يكن في موقعها الحالى بل كان في موقع يتوسط كتلة جندوانا القديمة (جنوب إفريقيا - غرب استراليا - أنتاركتيكا - الهند - مدغشقر - شرق أمريكا الجنوبية ) وكان يتمثل في منطقة رأس الرجاء الصالح تقريبا ومن ثم كان المناخ القديم للأرض يختلف عن المناخ الحالى وأكد بأن طبقات الفحم الكربونى في صغور أمريكا الشمالية وأوروبا ( والتي يعتقد بأنها تجمعت من تكوين النباتات المدارية ) ترسبت خلال حدوث فترة جليد جندوانا Gondwana Glaciation في النصف الجنوبي من الأرض . في حين تكون خلال نفس هذه الفترة الجيولوجية طبقات فحمية فقيرة (فحم جلوسيتريس) تتألف من نباتات باردة ، ونباتات اللبد النباتى ، في كل من جنوب إفريقيا وغرب استراليا وشرق أمريكا الجنوبية وفي الهند .

(1) Wegener, A. "Die Entstehung der Kontinent Ozeane", 1915.

(2) Wegener, A. "The origin of continents and Oceans ", Methuen ; Methuen London "1924".

وعند نهاية الزمن الجيولوجى الثانى وبداية الزمن الجيولوجى الثالث بدأت تتزحزح القارات تدريجيا نتيجة لشدة لزوجة طبقة السیما لتعرضها للحرارة الشديدة ، فانفصلت قارتا الأمريكتين عن أوروبا وأفريقيا وتزحزحت كتلتهم نحو الغرب ، فى حين تزحزحت القارة القطبية الجنوبية (انٹارٹیکا) نحو الجنوب ، وهضبة الدکن وأستراليا نحو الشرق . وساهمت حركة الزحزحة هذه فى تكوين بعض السلاسل الجبلية الكبرى التى انتابت أواسط الزمن الجيولوجى الثالث ، وبدأ يظهر اليابس بشبه صورته الحالية منذ أواسط عصر البلايستوسين . ( شكل ١٤٣ ) .

أواسط الزمن الجيولوجى الثالث



بداية الزمن الجيولوجى الثالث



أواسط البلايستوسين



شكل (١٤٣) تطور أشكال اليابس والماء خلال المصور الجيولوجية المختلفة حسب تفسير ليجنر .

ويعتقد فجنر بأن كتلة السيمبا كانت أكثر لزوجة عما هي عليه اليوم ، وساعد ذلك على تزعزح قارات السيبال فوقها بفعل عاملين رئيسيين هما :  
أ - قوة الجذب الأرضية : Gravitational Attraction وهى التى دفعت صخور السيبال القارية نحو المناطق الاستوائية . وقد وصف فجنر عملية زحزحة القارات بتعبير قفز أو انطلاق القارات من المناطق الإستوائية Polflucht-Flight ، وأسماها كذلك عملية التجول القطبى -Polar Wander- ing .

وقد أدت هذه الزحزحة الى تكوين سلاسل جبال عرضية تمتد من القرب الى الشرق مثل سلاسل مرتفعات الألب فى أوروبا والهميلايا فى آسيا والتى نتجت بعد إلتحام قارات السيبال .

ب - قوة المد : ويقصد بذلك اختلاف قوة جذب القمر والشمس لأجزاء سطح الأرض "Differential attraction of the moon and the sun on the continents" ، وقد أدت هذه القوة الى زحزحة القارات نحو الغرب كما هو الحال بالنسبة للأمريكتين ، ونجم عن ذلك تكوين سلاسل جبليه طولية على هوامش القارات وتتمثل فى سلاسل الروكى والأنديز ، كما زحزحت قارة آسيا غربا وتركت امامها الأقواس الجزرية القارية .

وقد بنى فجنر نظريته على أساس الأدلة العلمية المختلفة الآتية :

أ - تشابه التركيب الصخرى والتطور الجيولوجى لأجزاء قارة جنشوانا القديمة (شرق أمريكا الجنوبية والنصف الجنوبى من أفريقيا وشبه القارة الهندية وغرب استراليا و القارة القطبية الجنوبية ) . هذا الى جانب تشابه التاريخ الجيولوجى للعصر الكريونى الأسفل بصورة قوية فى كل من هذه القارات المختلفة .

ب - تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة العمر الجيولوجى على جانبي المحيط الأطلسى . فقد لاحظ « فجنر » أن امتداد السلاسل الجبلية الكاليدونية فى منطقة نيو انجلند بأمريكا الشمالية يتفق كثيرا مع امتداد

السلاسل الجبلية الكاليدونية في شبه جزيرة اسكتلندا وبالجزر البريطانية ، كما تبين كذلك بأن هناك تشابها كبيرا من حيث نشأة السلاسل الجبلية الهرسينية وامتدادها في كل من البرازيل ولورجواي وجنوب افريقيا ( شكل ١٤٤ ) .

ولكن لخلق «فجتر» في تفسير امتداد السلاسل الجبلية فوق أرضية المحيطات . ولم تستطع الدراسات الجيولوجية الحديثة أن تؤكد امتداد سلاسل جبال أطلس في شمال غرب افريقيا الى الغرب لتتصل بجزر كناري والراس الأخضر . ولم ينجح الجيولوجيون حتى الوقت الحاضر في كشف حلقة الاتصال بين سلاسل مرتفعات أطلس في افريقيا وسيرامديرا في اسبانيا ، وليس هناك أدلة تثبت تأثير قاع مضيق جبل طارق وفتح هذا المضيق بتلك الالتواءات الجبلية .



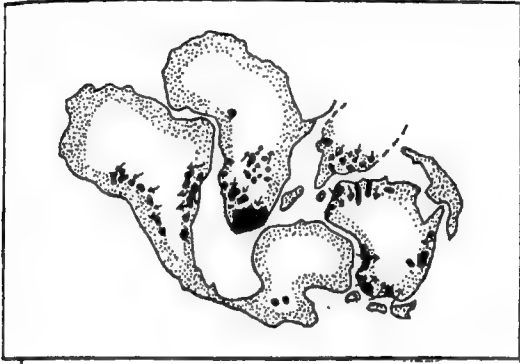
شكل (١٤٤) تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة العمر الجيولوجي على جانبي المحيط الأطلسي .

جـ - تشابه الحفريات والمناخ القديم بكتل القارات القديمة على جانبي المحيط الأطلسي . وقد وجد فجنر ارتباطا كبيرا بين حفريات صخور السيلوري الأعلى والديفوني بكل من جنوب افريقيا وأمريكا الجنوبية . وتنتشر فوق تلك التكوينات السابقة رواسب جليدية قديمة ترجع الى جليد القسم الأسفل من الزمن الجيولوجي الأول Late Paleozoic Continental Glaciation .

وقد نجح الباحثون في العثور على رواسب جليدية قديمة تتبع العصر الكربوني وتعرف باسم رواسب التيليت Tillite . واكتشفت هذه الرواسب الجليدية في مناطق أوريسا Orissa والبنجاب والمقاطعات الوسطى في الهند في عام ١٨٥٧ . ثم اكتشفت نماذج متشابهة لنفس هذه المجموعة من الرواسب الجليدية في جنوب غرب استراليا في عام ١٨٥٩ ، وفي جنوب افريقيا في عام ١٨٧٠ وفي شرق البرازيل في عام ١٨٨٨ . ويطلق العلماء على الطفك الجليدي الكربوني في جنوب افريقيا اسم دويكا Dwyka تليت Tillite . وتعرضت هذه الرواسب لفعل عوامل التعرية مدة طويلة من الزمن الجيولوجي ولكن بعضها لا يزال منطمرا ومدفونا أسفل رواسب أخرى حديثة العمر الجيولوجي . وأظهر مواقع تلك الرواسب الجليدية الكربونية تتمثل فيما بين الترنسفال شمالا والرائس الجنوبي لأفريقيا جنوبا . ويصاحب هذه الرواسب الجليدية الأسطح المصقولة والحدود الصخرية ، والكتل الضخمة مما يؤكد حدوث عصر جليدي قديم (شكل ١٤٥) .

ومن ثم أكد فجنر بأن كتلة جندوانا تعرضت لعصر جليدي قديم خلال بداية العصر الكربوني وذلك قبل تعرضها لعمليات الزحزحة الأفقية وهكذا أمكن تفسير التوزيع الجغرافي لتلك الرواسب الجليدية في كل من غرب استراليا وهضبة الدكن وجنوب افريقيا وشرق البرازيل ، وهي مناطق صحراوية حارة جافة مدارية المناخ في الوقت الحاضر (١) .

(1) Holmes, A . "Principles of physical geology", London, "1959", 487-509.



شكل (١٤٥) أجزاء كتلة جندوانا والتوزيع الجغرافي للرواسب الجليدية الكربونية في مناطق هي مطرية المناخ اليوم وتوضح الأسهم اتجاه الكتل الجليدية القديمة .

د - لاحظ فجوة اختلافات كبيرة بين الحفريات النباتية والحيوانية في أمريكا الشمالية وأوروبا عن تلك في أجزاء قارة جندوانا في القسم الجنوبي من الكرة الأرضية . فبينما يتمثل في أجزاء جندوانا القديمة رواسب جليدية قديمة وحفريات نباتية تشبه نباتات اللبد النباتي ، تعيش في مناخ بارد ومنها نباتات جلوسبتريس *Glossopteris* ، وجانجامويتريس *Gangamopteris* ، يبدو أن الرواسب والحفريات التي عثر عليها في صخور العصر الكربوني بأمريكا الشمالية وأوروبا إنما هي من تلك النباتات والحيوانات التي تعيش في مناخ حار رطب . وهكذا تبين أن طبقات الفحم

الكريونى فى أمريكا الشمالية وأوربا عبارة عن رواسب غابات ونباتات مستنقعات منارية رطبة ، كما عثر فجنر على رواسب تربة اللاتيريت ورواسب البوكسيت وهى أدلة على المناخ الحار الرطب . وقد لوحظت هذه الرواسب فيما بعد فى كل من كنتكى Kentucky وأوهايو Ohio بالولايات المتحدة الأمريكية ، وأيرشير Aurshir فى أسكتلندا ، وبحوض موسكو بروسيا ، وهى شبه جزيرة شانتونج بالصين الشعبية .

هـ - لاحظ فجنر أن السواحل الغربية لأفريقيا يمكن أن تلتصق بالسواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية بحيث تظهر على شكل منطقة واحدة تعرضت للانقسام قديما ثم تزحزحت أفقيا عن بعضها البعض واحتلت مواقعها الحالية . (شكل ١٤٦) .

ومع ذلك لم يشير فجنر إلى العوامل التى أدت إلى تزحزح القارات السيلية فى نهاية العصر الكريونى ، وعدم تزحزح القارات الحالية اليوم بنفس الصورة التى حدثت بها فى الماضى . كما ربط فجنر بين أشكال السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسى على اعتبار أنها انفصلا عن بعضهما البعض خلال العصر الكريونى ، دون أن يضع فى الاعتبار أشكال الرفارف القارية لهذه السواحل . فمن المعلوم أن السواحل التى ترتبط بقارات اليابس اليوم هى ولينة التفجيرات البلايستوسينية الحديثة ، وليست نتاج التزحزح القارى فى العصر الكريونى الأعلى كما أوضح فجنر . ولكن هذا لا يضعف من شأن النظرية حيث تلتصم الأطراف الشرقية مع الأطراف الغربية للمحيط الأطلسى عند خط عرض ٦٥٠٠ م .

### ٣ - نظرية اتصال القمر وانفصاله عن وجه الأرض :

أول من رجح هذه النظرية هو العالم تشارلس داروين فى عام ١٨٧٨ م واعتقد بأن القمر وهو النجم التابع للأرض انفصل عنها تبعا لتفاعل كل من قوة جذب الشمس للأرض من ناحية وقوة الطرد المركزية الناشئة عن دوران الأرض حول نفسها من ناحية أخرى وقد أكد هذه الآراء بصورة عامة أصحاب نظرية الشمس التوأمية ، وانشطار الكواكب الشمسية ومن



شكل (١٤٦) التهام السواحل الغربية لأفريقيا مع السواحل الشرقية لأمريكا  
الجنوبية وتداخلها مع بعضهما البعض عند خط عمق ٦٥٠٠ قدم .

بينهم H.N. Russell, 1925 ، وليتلتون R. A. Lyttleton في عام ١٩٣٦  
، ودوس جن Ross Gunn وبتلجي A. C. Baneji واعتقد هؤلاء أنه من  
المألوف أن يتبع كل من كواكب المجموعة الشمسية أقمار صغيرة تابعة لها  
، وقد يكون معظمها منشطاً من هذه الكواكب نفسها . وعلى ذلك فقد  
أنسلخ القمر من الحوض العميق الهائل الحجم في الكرة الأرضية الذي  
يشغله اليوم المحيط الهادئ <sup>(١)</sup> . ومن بين الملاحظات التي تؤيد هذه  
النظرية :

(1) Cowen, R. C., "Frontiers of the Sea", London. 1069.

(٢) المد الذي يفصل بين سفوح السيل القارية وسفوح السيل المحيطية .

١- الشكل الدائري لحوض المحيط الهادى داخل حد الاندسيت (٢) ،  
والذى يمثل فى نفس الوقت محيط الجزء القمرى الذى كان متصلا  
بالأرض قبل انفصاله عنها .

ب- إن جميع المحيطات الأخرى على سطح الأرض ، فيما عدا المحيط  
الهادى تتميز بأن لها قشرة صخرية مركبة من صخور الجرانيت والسيال  
Sial متعاقبة فوق صخور السيمان Sima ، التى تشغل معظم أرضية المحيط  
الهادى . وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن قشرة صخور السيل  
التي كانت تابعة للمحيط الهادى قد انفصلت أبان إنسلاخ القمر عن كوكب  
الأرض .

ومن مؤيدى هذه النظرية كذلك أزموند فيشر Osmond Fisher . ومن  
نتائج حسابات هذا الباحث لطول نصف قطر القمر ، أكد أن أبعاد  
المسطحات المائية للمحيط الهادى تتفق كثيرا مع شكل القمر المستدير ، وأن  
القمر يملأ الحيز المائى للمحيط بطبقة صخرية يبلغ سمكها نحو ٦٠ كيلو  
مترا ، غير أن هذه النظرية قد واجهت عدة اعتراضات من أهمها :

١- إن سمك الصخور التى تزعم النظرية ارتفاعها من موقع المحيط  
الهادى والتى تبلغ نحو ٩٠ كيلو مترا ، أكبر من سمك القشرة السطحية  
للقارات ( السيل ) ، والتى تبلغ أقصى سمك لها نحو ٤٥ كيلو مترا فقط .  
ب- إن كثافة المواد المعدنية التى يتركب منها القمر فى الوقت الحاضر  
أعلى بكثير من كثافة صخور السيل القارية .

ويعتقد أصحاب هذه النظرية أن القمر عند إنسلاخه من الأرض لم  
يتنزع منها قشرة السيل فقط ، بل جذب معه أيضا بعض صخور من  
السيما كذلك . وتبعا لحركة دوران القمر ، وقوة كل من الجذب والطرد  
التي نشأت فيه اختلطت هذه المواد معاً ، وترتبت من جديد ، وازدادت  
كثافتها عما كانت عليه من قبل .

وفىما يختص بكيفية نشأة البحار والمحيطات الأخرى فيعتقد أصحاب  
هذه النظرية بأنه نتيجة لحوث إنسلاخ قاع المحيط الهادى وانفصال كتلة  
هائلة السمك من الصخور البازلتية السفلى نشأت حركات تصدع وتشقق

في الصخور الجرانيتية المجاورة ، وخاصة على الجانب الآخر المواجه لذلك الجانب الذي انسلخ منه القمر . وتبعاً لذلك سرعان ما اتسعت جوانب هذه الشقوق بفعل دوران الأرض حول محورها من جهة وحول الشمس من جهة أخرى . وبعد أن تعرضت الأرض لعمليات التبريد التدريجي البطيء ، بدأت تتشكل هذه المقعرات الجرانيتية الكبرى لتكون المسطحات المائية على الوجه الآخر من كوكب الأرض . وتبعاً لهذه النظرية فإن الأحواض المحيطية تكونت على سطح كوكب الأرض خلال مراحل تكوين هذا الكوكب نفسه (أي منذ ٥٠٠٠ مليون سنة) ، وليس بعد أن تكونت القشرة الأرضية وتزحزحت القارات في العصر الكربوني (أي منذ ٣٥٠ مليون سنة) كما أوضح فجنر في عام ١٩١٤<sup>(١)</sup> .

#### (٤) نظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية : Plate tectonic theory

تسهم نظرية الألواح أو الصفائح الجيولوجية في تعميق فهم التغيرات التكتونية التي تنتاب باطن الأرض اليوم ، والتوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية ومناطق تركيز حدوث الزلازل والبراكين على سطح الأرض . كما ألقت هذه النظرية الضوء على مورفولوجية أرضية البحار والمحيطات وأسباب تكوين الحواجز المحيطية العظمى Submarine ridges والسهول المحيطية Abyssal Plains والخنادق المحيطية العميقة Deep sea trenches .

وترجع هذه النظرية بأن قشرة الأرض ( فيما بين عمق ٥٠ حتى ١٥٠ كم ) تتألف من القشرة القارية Continental Crust والقشرة المحيطية Oceanic crust وأجزاء من أعالي الكتلة الغطائية للأرض mantle مكونة ما يعرف باسم النطاق الصخري Lithosphere للأرض . ويقع هذا النطاق الأخير فوق النطاق الساخن شبه اللزج Semiplastic للأرضين السفير Asthenosphere الذي يمتد بدوره من قاعدة النطاق الصخري للأرض وحتى عمق ٧٠٠ كم فيها . وترجع هذه النظرية بأن النطاق الصخري للأرض القَصِيم أو الهش Brittle ينكسر عادة إلى ألواح أو قطع فسيكسائية صلبه Mosaic of rigid plates تتحرك أفقياً الواحدة بعد الأخرى نحو

سطح الأرض مثل تحرك قطع الثلج في المياه . ويعمل النطاق الصخري للأرض على حصر حركة هذه الألواح أفقياً وأسفله . ومن ثم فإن معظم مناطق حدوث النشاط التكتوني والهزات الأرضية وطفوح المواد اللاقية تتركز عند الحد الفاصل بين كل لوح جيولوجي وآخر .

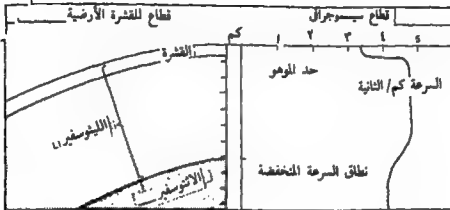
وتختلف نظرية الألواح الجيولوجية عن نظرية التزحزح الراسي للقارات والتي سبق أن رجحها من قبل كل من كلفن وسولاس ولاوارث ولاف وجريجورى وعن نظرية زهزحة القارات أفقياً Continental Drift Theory والتي رجحها من قبل فرنسيس بيكون وأنطونيو سينيدر وتايلور والفريد فجتر ذلك لأنها تفسر بصورة علمية كيفية تحرك أجزاء قشرة الأرض أفقياً من موقع إلى آخر خلال الفترات الجيولوجية المختلفة وعدم تحريكها بنفس المقدار في الوقت الحاضر وذلك وفقاً للخصائص الجيوفيزيائية لمواد باطن الأرض سواء أكانت المنصهرة أو شبه المنصهرة أو المتجمدة تبعاً لمدى تفاعل المواد المشعة فيها .<sup>(١)</sup>

### الألواح الجيولوجية في القشرة الأرضية: Crustal Plates

#### أ. بنية الألواح الجيولوجية : Plate Structure

يوضح (شكل ١٤٧) قطاعاً سيزمياً مثالياً لجزء من القشرة المحيطية ونظام بناء قشرة الأرض وفقاً للنتائج السيزمية المتاحة . ويمثل حد «الموهو» قاعدة القشرة الأرضية حيث تبدأ عنده سرعة الموجات الزلزالية في الزيادة التدريجية تبعاً لاختراقها مواد «المانتل» الأعلى كثافة . ولكن عند عمق يتراوح بين ٧٠ - ٨٠ كم من سطح الأرض تنخفض سرعة الموجات الزلزالية ويمرّ هذا الانخفاض إلى أن جزءاً من مواد «المانتل» عند هذه الأعماق يكون في حالة شبه منصهرة . ويطلق على قشرة الأرض والقسم الأعلى الجامد من مواد «المانتل» معاً تمهيد الغلاف الصخري Lithosphere أما القسم الأسفل من مواد «المانتل» شبه المنصهرة فتعرف باسم الأستوسفير Asthenosphere .

(١) حسن أبو العينين « الألواح الجيولوجية التكتونية » تأليف دس ميثر وترجمة أد حسن أبو العينين - الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٨٨) ص ١ - ٢٦٦ .



(شكل ١٤٧) الألواح الجيولوجية في القشرة لأرضية .

وإذا كان سطح الأرض يتحرك بصورة منفصلة تماماً عن باطن الأرض ، فإن الحد الفاصل بين الغلاف الصخري الجامد والليثوسفير شبه المنصهر يعد هو المنطقة المناسبة لحدوث الانفصال بين قشرة الأرض وباطنها . أو بمعنى آخر فإن القشرة الخارجية للأرض في هذه الحالة تكون مرتبطة بشدة بالقسم الأعلى الجامد من مواد « المانتل » وأنهما معاً يتحركان فوق مواد المانتل شبه المنصهرة .

وقد اقترح الأستاذ « هيس » HESS وبعض الجيولوجيين الأوائل من قبل أن للأرض قشرة خارجية جامدة محدودة السمك ، ومرتبطة ببقية الغلاف الصخري للأرض (الليثوسفير) . وتتقطع هذه القشرة الأرضية في بعض الأجزاء مكونة الألواح الجيولوجية الجامدة Rigid Plates . وقد يفسر لنا ذلك أسباب عدم تغيير أو إعادة تشكيل مساحات واسعة تقدر بالآلاف الكيلومترات المربعة من القشرة المحيطة ، وأن أجزاء من هوامش القارات لا تزال حتى الآن يمكن أن تتداخل فيما بينها . وعلى ذلك فإن







قشرة الأرض هي عبارة عن القسم الأعلى للألواح الجيولوجية ، وعند تحرك الأخيرة فإنها تحمل معها أجزاء القارات التي تمثل أعالي القشرة الخارجية للأرض .

ويعد سمك القشرة القارية Continental Crust أكبر بكثير منه في حالة القشرة المحيطية Oceanic Crust للأرض . فبينما يبلغ سمك الأولى نحو ٢٥ كم فإنه يصل في الثانية إلى نحو ٨٩ كم فقط ، كما أن القشرة القارية أقل كثافة ( متوسط كثافتها ٢,٨٥ جرام/سم<sup>٣</sup> ) بينما تبلغ في القشرة المحيطية نحو ٢ جرام/سم<sup>٣</sup> ) ونتيجة لذلك فإن أجزاء من الألواح الجيولوجية التي تتغطى بالقشرة الأرضية تكون شديدة التماسك وقابلة للطفو بدرجة أكبر من تلك الأجزاء من الألواح الجيولوجية التي تقع فوقها أجزاء من القشرة للمحيطية فقط . وبسبب صلابة الألواح الجيولوجية القارية وقدرتها على الطفو فإنها تقاوم فعل الانغماس والانزلاق إلى أسفل في مواد المانتل . ومن ثم يرى البعض أن العمر الجيولوجي لقشرة الأرض القارية يقدر بنحو ١٠٠٠ مليون سنة وقد يزيد عمرها إلى أكثر من ٤٠٠٠ مليون سنة مضت . أما القشرة المحيطية للأرض المحدودة السمك فإنه يمكن لها أن تنزلق إلى أسفل وتنغمس في مواد «المانتل» وتنصهر فيها . ومن ثم فإن أقدم صخور القشرة المحيطية لا يعود عمرها أبعد من ٢٠٠ مليون سنة فقط .

#### ب - حدود الألواح الجيولوجية وأبعادها : Plate Boundaries

تبعاً لزيادة السمك النسبي للألواح الجيولوجية فإنها تعد متماسكة وجامدة وتعرض هوامشها عند تحركها لقوى الضغط الشديدة الذي يؤدي بدوره إلى ثني التكوينات ورفعها أو إلى تصدعها ، وتحدث عمليات الرقع إذا كانت قوى الضغط محدودة ، أما إذا كانت هذه القوى شديدة فتؤدي إلى حدوث التصدع . وانفصال التكوينات الصخرية على طول أسطح الصدوع (الانكسارات) قد يؤدي إلى حدوث موجات اهتزازية فجائية . ويعدل نظام الموجات السيزمية المسجلة على خصائص عمليات انفصال

التكوينات الصخرية على طول أسطح الصدوع الجوفية . ويوضح شكل ١٤٨ كيفية انكسار التكوينات الصخرية وفقاً للاختلافات في عمليات انضغاط الصخور أو شدّها ، وتوضيح الأسهم في هذا الشكل اتجاهات حركة التكوينات على طول أسطح الصدوع ، وأن لكل نوع من هذه الأنواع المختلفة من الصدوع شكله السيزمي الخاص به . ومن ثم فإن تحليل أنماط الموجات السيزمية يسهم في معرفة أنواع الصدوع التي تحدث في نطاق الألواح الجيولوجية .

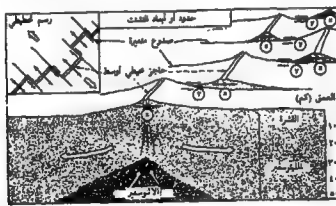
الانزلاق الأفقي	انضغاط في المجالين متساويين	شد في المجالين متساويين	الصدوع
			أنواع الصدوع
صدوع جاذبية عرصية	صدوع عكسية	صدوع عادية	
			الرموز

شكل ١٤٨ أشكال مختلفة للصدوع .

ويمكن القول أن نظرية «هيس» الخاصة باتساع أرضية المحيطات تعد صحيحة ومقبولة علمياً . ولكن ينبغي أن ندرك بأنه ليست قشرة الأرض فقط هي التي تتعرض للتكسر عند مناطق الصوامج المحيطية الوسطى والخنادق المحيطية الكبرى بل أن كل كتلة الألواح الجيولوجية في منطقة الليثوسفير تتعرض هي الأخرى لهذه العملية كذلك . ومن ثم فإنه من الضروري الإشارة إلى نظام بناء الألواح الجيولوجية ومعرفة أبعادها . ويمكن أن نميز ثلاثة أنماط مختلفة من الحركة على طول أسطح الصدوع الجوفية تعرف بصدوع الشد Tension أي شد التكوينات الصخرية في إتجاهين متضادين ، وصدوع الضغط Compression أو دفع التكوينات الصخرية في إتجاهين متقابلين ، وصدوع الانزلاقات الأفقية Torsion أي تحرك التكوينات الصخرية على طول أسطح الصدوع متحركاً جانبياً أو انقياً .

وتبعاً لنظرية اتساع أرضية المحيطات فإنه كان من المتوقع أن نجد صدوع الشد في مناطق الحواجز المحيطية الوسطى . وكما أظهرت الدراسات السيزمية فإن تكوينات الأنتوسفير تقترب من السطح على طول هذه الحواجز المحيطية الوسطى عنها في أي منطقة أخرى . وتدعم هذه الملاحظة فكرة أن الحواجز المحيطية الوسطى تتركز مواضعها عند خطوط تعرض الماجما لحركات الدفع من أسفل إلى أعلى ، كما أنها تفسر كذلك أسباب ارتفاع الحرارة الجوفية والعمق المحدود للمراكز الداخلية للزلازل عند منطقة الحواجز المحيطية الوسطى .

ويلاحظ أن معظم قمم الحواجز المحيطية تتعرض لأخاديد صدعية تعزى نشأتها إلى الصدوع البسيطة . كما تشاهد الصدوع الجانبية على طول أسطح الصدوع التي تقطع الحواجز المحيطية عرضياً . (شكل ١٤٩) . وعلى الرغم من أن الأنواع الجيولوجية في كلتا الحالتين تتباين عن بعضها البعض عند النقطة (Y) وتحدث في منطقتين مختلفتين في الحواجز المحيطية الوسطى فإنه تبعا لعمليات التصدع فإنها تنزلق تحت

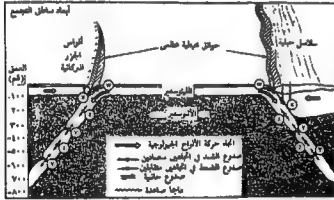


(شكل ١٤٩) نموذج للنظم التكتونية للأحواض الجيولوجية

عند الحواجز المحيطية الوسطى.

بعضها البعض وتتغير معاً ويكونا حركة واحدة مرتبطة الأجزاء ومن ثم يطلق عليها في هذه الحالة الصدوع المتغيرة Transform Fault .

وإذا تحرك جزءان من الألواح الجيولوجية في اتجاهين متقابلين فإن أحد الألواح الجيولوجية يقع متراكباً فوق الآخر (شكل ١٥٠). وقد يتألف من تكوينات القشرة القارية أو تلك المحيطية للأرض. ولكن يغلب على الألواح للتراكبة فوقها أن تكون من نوع القشرة المحيطية. وتسهم الدراسات السيزمية في معرفة الكثير عن خصائص مناطق تراكب الألواح الجيولوجية عند تقابل بعضها مع البعض الآخر. وعلى الرغم من أن



(شكل ١٥٠) نموذج للنظم التكتونية للألواح الجيولوجية في

منطقة انزلاقاتها في مواد المانتل

١- الحركة الرئيسية للصدوع هنا هي من نوع صدوع الضغط (في اتجاهين متقابلين) إلا أنه يمكن تمييز عدة حركات ثانوية منها :

١- عندما تنزلق التكوينات الصخرية أسفل الخنادق المحيطية العظمية تتكون صدوع الشد Tensional Faults (W) في القسم الأعلى منها .

٢ - تتكون صدوع الانزلاقات الجانبية Strike-slip Faults عندما تنزلق التكوينات الصخرية أسفل تكوينات أخرى (X) .

٣ - تتكون صدوع الشد (T) عندما تنزلق الألواح الجيولوجية إلى أسفل وتعرض للتكسر إلى أجزاء مختلفة .

٤ - بعض الأجزاء المتكسرة التي انفصلت عن بعضها قد تتعرض

لصدوع الضغوط . كما توضح منطقة الاضطرابات السيزمية التي تنتهي عند عمق ٧١٠ كم من السطح بأن الألواح الجيولوجية أسفل هذا العمق تكون منصهرة ومتداخلة أو منقسمة مع مواد « المانتل » .

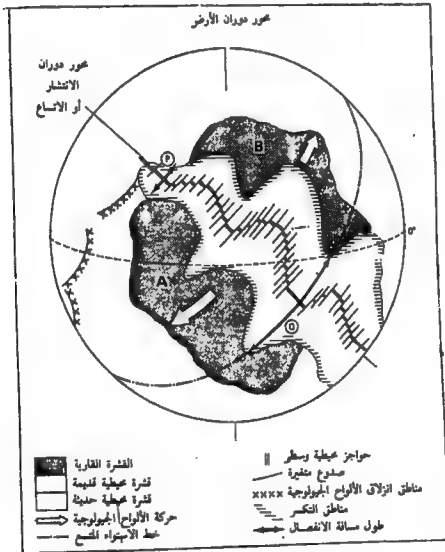
### جـ - حركة الألواح الجيولوجية : Plate Movement

يقصد بحركة الألواح الجيولوجية هو انسيابها وانتقالها أسفل القشرة الخارجية للأرض في اتجاه محيط الكرة الأرضية . وعندما يتحرك لوحان جيولوجيان في اتجاهين متضادين فإنهما يبتعدان عن بعضهما البعض بالنسبة للخط الفاصل لحركتهما أو ما يعرف باسم محور الحركة أو الدوران Axis of rotation ويوضح شكل ١٥١ انقسام قارة افتراسية إلى قسمين هما A ، B وأن الصاجز المحيطي الأوسط هو الذي يمثل خط الانفصال بينهما ويتألف بدوره من أجزاء الحواجز المحيطية والصدوع المتغيرة . ويظهر أن أجزاء الحواجز المحيطية تقع موازية لخطوط تمتد عمودية على محور الحركة . أما الصدوع المتغيرة Transform faults فتقع على خطوط عرض حول هذا المحور أي موازية لحركة دوران الألواح الجيولوجية وعلى ذلك فإن الحركة على طول الصدوع المتغيرة تحتفظ بموضع واتجاهات الحواجز المحيطية . ويظهر كذلك أن مدى اتساع أرضية المحيطات بالقرب من المناطق القطبية (أطراف) لمحور الحركة P ، تكون أبطأ بالنسبة للمناطق الاستوائية Q ويتراوح مدى اتساع أرضية البحار من ٢ سم إلى ٦ سم في السنة على كل جانب من جوانب الحواجز المحيطية الوسطى .

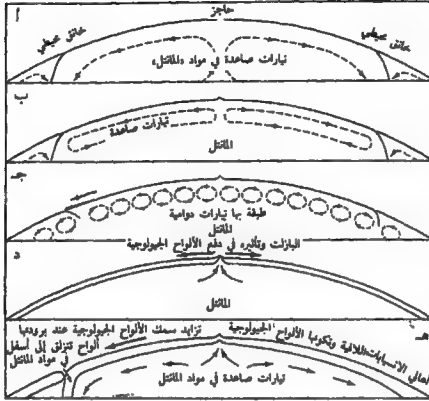
### د - ميكانيكية حركة الألواح الجيولوجية : Driving mechanisms

إن القوى المسؤولة عن حركة الأكرح الجيولوجية أسفل القشرة الخارجية للأرض حول محيط الكرة الأرضية لا تزال غير واضحة تماماً . واقتراح العلماء الكثير من الافتراضات لتفسير تلك القوى ومن بين أئدم هذه الافتراضات تلك التي اقترحت بأن قشرة الأرض رفعت ونقلت عن طريق حركة التيارات الصاعدة الحرارية Thermal Current في مواد المانتل

( شكل ١٥١ ) ولكن بعد أن عرف العلماء الخصائص التفصيلية لنظام بناء مواد باطن الأرض فقد تبين بأن انسياب مواد باطن الأرض يرتبط بنطاق الانتوسفير (شكل ١٥٢) . ومعنى ذلك أنه ينبغي أن نفترض بأن نطاق التيارات الحرارية الساخنة كانت أكبر سمكاً بنحو ٢٠٠ مرة مما كان عليه ، ومثل هذه الحالة لا يمكن وجودها بهذه الصورة .



شكل ( ١٥١ ) نظم حركة الألواح الجيولوجية بالنسبة للمساح الكروي للأرض .



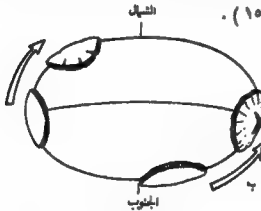
٢.

ويوضح (شكل ١٥٢) أن هناك ارتباطاً كبيراً بين كل من الحواجز المحيطية الوسطى والخنادق المحيطية العميقة ومن الصعب اعتبار أن نشأة أي منهما مسئولة عن نظام بسيط في حركة التيارات الساخنة الصاعدة . ومن ثم اقترح بعض العلماء أن الألواح الجيولوجية هي أجسام طافية تتحرك بمساعدة خلايا التيارات الصاعدة الصغيرة الحجم جداً والتي تنشأ أصلاً في مواد المانتل على شكل تيارات جوفية دوامية الحركة Geothermal turbulence ( شكل ١٥٢ جـ ) . وقد يؤدي الثقل الناتج عن قارة ما خاصة عند أهد أطرافها إلى تحرك الألواح الجيولوجية . ومع ذلك لا يمكن أن تفسر هذه الافتراضات كل حركة الألواح الجيولوجية أسفل قشرة الأرض .

وتقترح إحدى النظريات الأخرى بأنه عندما اندفعت الماجما على طول خطوط امتداد الحواجز المحيطية الوسطى ، امتصت معها بعض المياه ونتج عن ذلك زيادة حجمها مما أدى بها إلى دفع الألواح الجيولوجية إلى الحركة

( شكل ١٥٢ د ) . ولكن من دراسة نظام بناء الألواح الجيولوجية يتبين أنها تأثرت بعمليات الشد Pulling أكثر من تأثرها بعمليات الدفع Pushing .

وتفترض إحدى النظريات الحديثة كذلك بأن الألواح الجيولوجية هي ببساطة عبارة عن الأسطح العلوية للحركات الانسيابية للتيارات الساخنة الصاعدة في مواد المانتل . وأن هذه الحركات لا تحدث عن طريق الخلايا الحرارية البسيطة ولكن وفقاً لنظام إنسيابي معقد من التيارات الساخنة الصاعدة . فعندما ترتفع مواد الأئوسفير إلى أعلى عند مناطق الحواجز المحيطية الوسطى تتعرض للبرودة والتجمد ( كمثال القشرة التي تتكون عند برودة المواد المنصهرة للشعلة ) وعند تشتت المواد الانسيابية ( إلى الشرق وإلى الغرب من منطقة الحواجز المحيطية الوسطى ) تتعرض أعاليها للبرودة ثم إلى التماسك . وكلما بعدت الألواح الجيولوجية عند الحواجز المحيطية الوسطى تصبح أكثر برودة وأكبر سمكاً وأعلى كثافة ومن ثم تصبح موانعاً في حالة عدم استقرار . وتسترد هذه المواد حالتها المستقرة من جديد عندما تتعرض الألواح الجيولوجية للتكسر أو عندما تنغمس أحد أطرافها إلى أسفل وينزلق في مواد المانتل . وقد ينتج عن ثقل الكتلة الهابطة شد الألواح الجيولوجية التي خلفها وسحبها إلى أسفل وينجم عن ذلك نشوء حركة ميكانيكية جديدة فيها وأخيراً قد تكون حركة الألواح ناتجة عن فعل كل هذه العوامل مجتمعة ، ولم يأت الوقت حتى الآن لكي نحدد تماماً وعن يقين القوى الميكانيكية المسئولة فعلاً عن تحرك الألواح الجيولوجية ( شكل ١٥٢ ) .



( شكل ١٥٢ ) تعرض الألواح الجيولوجية للضغط والتشقق نتيجة للأضحية التكتونية .

وكما سبقت الإشارة من قبل فإن الألواح الجيولوجية تتميز بتماسكها وصلابتها ، ولكن عندما تتأثر بعمليات قوى الضغط المختلفة Stress فإنها قد تتعرض للتصدع Faulting أو تتغير موادها وتصبح في حالة لدنة Plastic وقابلة للطى والذبح إلى أعلى (Uplifting) Folding . وتحدث عملية الضغط هذه في الألواح الجيولوجية بصور مختلفة منها شد في اتجاهين متضادين Tension أو ضغط أو دفع في اتجاهين متقابلين Compression أو انزلاق جانبي أفقى Torsion ويمكن أن تحدث حالات الضغط في الألواح الجيولوجية عند هوامشها وكذلك عندما تتداخل بعض الألواح الجيولوجية في بعضها الآخر . وعلى ذلك فإن كلا من مناطق هوامش الألواح الجيولوجية وبداخلها يتعرضن للتمزق والتغير بأغشية تكتونية-plate Tectonics brane وإن تركّز الحرارة الجوفية محلياً في جزء محدد من الألواح الجيولوجية عند تدفق انتفاخات من مواد « المانتل » فيها قد يؤدي بدوره إلى حدوث أنواع مختلفة من أشكال الضغوط .

### الألواح الجيولوجية تحت تأثير عمليات الشد ( الألواح الجيولوجية المتفرقة أو المتباعدة )

#### Plates under Tension (Divergent Plates)

إن الألواح الجيولوجية التى تتغطى بأجزاء من القشرة القارية -Conti- mental Crust يمكن لها البقاء لفترة زمنية أطول من تلك التى تتغطى بأجزاء من القشرة الأرضية المحيطية Oceanic Crust . وينتج من ذلك أن معظم الظواهر المثلة في الألواح الجيولوجية والتى ترتبط بعمليات الشد ( فى اتجاهين متضادين ) يقتصر وجودها على القشرة الأرضية . ويمكن استنباط أسباب حدوث عمليات الشد عند دراسة تأثيرات هذه العمليات ونتائجها . وهناك نظريتان مختلفتان حاولت كل منهما تحديد أسباب عمليات الشد . وتقتصر النظرية الأولى بأن عمليات الشد تنتج عن تشتت انسيابات « المانتل » Divergent Mantle Flows فى حين تقترح الثانية بأن عمليات الشد في الألواح الجيولوجية تعزى إلى الأثر الناتج عن حدوث

### إنتفاخات حرارية فى مواد « اللانتل » . Mantle Plumes .

وتؤكد النظرية الأولى بأنه عند حدوث انسيابات لاقية بفعل التيارات الحرارية الصاعدة Convective Flows متفرقة أو مشتتة Divergent ( أى تنساب فى اتجاهين متضادين ) فى مواد اللانتل ، فإن المواد اللزجة التى تخرج إلى أعلى وتغطى الألواح الجيولوجية تتعرض للتمزق والإنقسام . أما النظرية الثانية فتتضمن على أن عمليات الشد فى الألواح هى بفعل تكوين الانتفاخات الساخنة Plumes or Hot Spots فى مواد « اللانتل » . وتتكون مثل هذه الانتفاخات نتيجة لارتفاع حرارة مواد اللانتل بدرجة كبير بكثير من المواد الأخرى التى تحيط بها . وينجم عن ذلك حدوث حركات رفع من أسفل إلى أعلى أو تكوين القباب Domes والقشرة العلوية للأرض . وفى عام ١٩٣٩ أكد الأستاذ هانزل كلوس Hans Cloos معملها بامكانية حدوث عمليات الشد بفعل حركات الرفع من أسفل إلى أعلى فى المواد الصلصالية . ويوضح شكل ١٥٢ نتائج هذه التجربة العملية حيث تعرض الصلصال هنا لعمليات الرفع وأصبح على شكل قبة تبعاً لتأثيره بتيارات حرارية ساخنة صاعدة عن فوهة قديمة تمتوى على مياه مرتفعة الحرارة . وعند رفع المواد الصلصالية إلى أعلى تعرضت هذه المواد لعمليات الشد وتكون فيها العديد من الصدوع البسيطة العادية Normal faults والأخاديد الصدعية Rifting . وأكد « كلوس » بعد إجراءه العديد من هذه التجارب العملية على إمكانية تكوين عمليات الشد فى الألواح الجيولوجية ، وحدث الأخاديد الصدعية العظمى فى القشرة الأرضية بفعل تأثير الانتفاخات الساخنة التى تتكون من مواد « اللانتل » .

## الألواح الجيولوجية تحت تأثير عمليات الضغط (الألواح الجيولوجية المتجمعة أو المتقابلة )

Plate under Compression

(Convergent Plates)

مظاهر تجمع الألواح الجيولوجية :

عندما يتحرك الطرفان الأماميان للوحين جيولوجيين في اتجاهين متضادين ( بفعل الشد Tension ) ويتباعضان عن بعضهما البعض تحت سطح الأرض ( مع اتجاه محيط الأرض ) فإن طرفيهما الخلفيين يتحركان في نفس الوقت كذلك صوب بعضهما البعض أى في اتجاهين متقابلين ويقتربان من بعضهما البعض على الجانب الآخر من الكرة الأرضية .

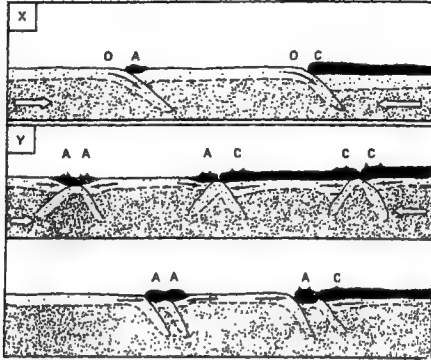
وعلى ذلك فإنه عندما كانت قارة أمريكا الشمالية تتباعد عن أوراسيا عبر المحيط الأطلسي ، فإن كلا منهما كانت تقترب من الأخرى عبر المحيط الهادئ . أو بمعنى آخر فإن المحيط الأطلسي كان يزداد اتساعاً في حين كان المحيط الهادئ يقل اتساعه بنفس المقدار . ومن هنا ندرك أن أجزاء المحيط هي التي تتعرض للترايد أو التناقص بخلاف قارات اليابس التي تظل شبه ثابتة المساحة لدرجة كبيرة . ويعزى السبب في ذلك إلى أن أجزاء الألواح الجيولوجية التي تقع تحت القشرة القارية تعد أقل كثافة وأعلى قدرة على الطفو كما أنها أشد تماسكاً من تلك الألواح الجيولوجية التي تقع فوقها أجزاء من القشرة المحيطية .

وفي المواقع التي يتقابل عندها الألواح الجيولوجية فإنها تتعرض لأنواع من الضغط تحدث في اتجاهات متقابلة Compressions وتتكون ظواهر ناشئة بفعل الضغط وتتنوع بحسب نوع القشرة الأرضية التي تتوج أعالي هذه الألواح الجيولوجية . وتتميز القشرة المحيطية بأنها شبه لدنة Supductable وقابلة للانزلاق والرمى إلى أسفل والانغماس في مواد « للمانزل » .

أما القشرة القارية وكذلك بقاياها التي تقع تحت القوس الجزر البركانية فتعد أكثر تماسكاً . ولذلك عندما تتعرض القشرة المحيطية للتحزح وتتقابل وجهاً لوجه في منطقة ما ، فإن أجزاء منها قد تتعرض للرمي إلى أسفل ثم للانزلاق والانغماس في مواد « المانتل » وتتكون هنا ظواهر تركيبية النشأة تحت تأثير فعل الضغط في اتجاهين متقابلين .

أما إذا لم يتعرض اللوحان الجيولوجيان أو أحدهما لعملية الانزلاق والانغماس في مواد « المانتل » فربما يحدث تصادم بينهما . Collision كما قد تتكون ظواهر تركيبية النشأة ناتجة عن فعل انضغاط الألواح الجيولوجية . ولكن عندما تتشابك أطراف لوحين جيولوجيين عند تحركهما وجهاً لوجه فإن منطقة التقابل أو التجمع Convergence تتمثل عند منطقة التشابك هذه . ومن ثم فإن حركة الألواح الجيولوجية حول محور الدوران تكون في حالة السكون أو تتعرض أجزاء الألواح الجيولوجية هنا لعملية الانزلاق والانغماس في مواد المانتل (في بعض الأحيان تستمر حركة الألواح الجيولوجية ولكن ربما تتخذ لها اتجاه ومدار جديدين) . ويوضح شكل ١٥٤ سبعة مظاهر محتملة للنشوء في مناطق تجمع الألواح الجيولوجية . ويتبين من هذا الشكل أن الحالتين في شكل ١٥٤ (X) ناشئتان عن هبوط الألواح الجيولوجية وانغماسها في مواد المانتل عند منطقة التجمع الانزلاقي Subductive Convergence أما الحالات الخمس الأخرى في شكل ١٥٤ (Y) فتظهر حالات الألواح الجيولوجية عند عملية تصادمها Collision Configurations حيث إن حواف الألواح الجيولوجية الطافية تصادمت فيما بينها عندما تقابلت وجهاً لوجه وتوقفت عملية هبوطها إلى أسفل وانغماسها في مواد المانتل . وترتبط كل هذه الحالات المختلفة التي تتقابل عندها حواف الألواح الجيولوجية بتكوين الظواهر التركيبية التكتونية الناتجة عن فعل الضغط . وتعد أهم هذه الظواهر الأخيرة هي تلك الناتجة عن عملية بناء الجبال .

Orgenesis or Mountain Building



(شكل ١٥٤) مظاهر منطقة التجمع :

X = لتجمع الانزلاقي للأحواض الجيوديناميكية

Y = لتجمع التصادمي للأحواض الجيوديناميكية

O = الأحواض الجيوديناميكية للحيطة

C = الأحواض الجيوديناميكية القارية

A = القواسم الجوز المحيطة

وتعزى نشوء هذه العملية إلى تجمع الرواسب الهائلة الحجم في  
الثنيات الحوضية المقعرة العظمى في قشرة الأرض Geosynclines ثم  
تعرضها للضغط في اتجاهين متقابلين وعمليات الطي والتصدع .  
وتكون هذه العمليات السلاسل الجبلية الكبرى كمثال سلاسل الأنديز  
والألب والهمالايا . وكما سيتضح فيما بعد فإن عمليات بناء الجبال يمكن  
أن تحدث تحت عدة ظروف متنوعة من حالات الضغط ، وينتج عن ذلك  
تنوع في أشكال السلاسل الجبلية نفسها .

### تكوين القارات وتطور نموها : The Growth of continents

هناك رأيان مختلفان حول كيفية نشوء صفور السيلال Sial أو بمعنى آخر القشرة القارية على سطح الأرض في ضوء نظرية الألواح ( الصفائح ) الجيولوجية هما :-

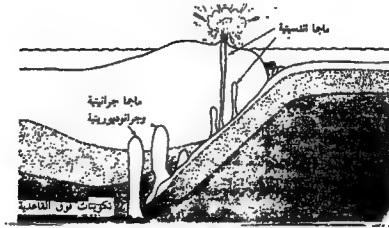
أ- ربما تكونت صفور السيلال كيميائياً عند بداية ميلاد الأرض ثم تعرضت لتأثير القوى التكتونية ( الداخلية ) وتشكلت بصورة مستمرة .

ب- ربما تكونت صفور السيلال بصورة متواصلة عند حواف الألواح الجيولوجية المتقابلة ، ومن ثم فإن هذه القارات تواصل نموها عبر الأزمنة الجيولوجية .

وقد أكدت الأدلة العملية الحديثة المعتمدة على نتائج التحليل الاشعاعي لنسبة الأسترونتيوم  $^{87}\text{Sr}$  إلى الأسترونتيوم  $^{86}\text{Sr}$  في صفور القشرة الأرضية مفهوم الرأي الثاني ، الذي يقترح تكوين صفور السيلال عند حواف الألواح الجيولوجية المتقابلة .

ويوضح (شكل ١٥٥) القوى المقترحة لكيفية نشوء القشرة الأرضية . فعند انزلاق اللوح الجيولوجي إلى أسفل وانغماره في مواد « المانتل » يتعرض للانصهار من جديد Remelt وأول من يتعرض من المعادن للانصهار هي تلك التي تتميز بحاجتها لكي تنصهر إلى أقل درجة انصهار Lowest Melting Point وتقل نقطة أو درجة الانصهار وفقاً لمدى وفرة المياه في التكوينات التي تعرضت للانزلاق والهبوط في مواد المانتل . والمعادن التي تنصهر في البداية هي تلك التي تتميز كذلك بقلة كثافتها . وحيث إن الشرائح المنزقة تتعرض في هذه الحالة للانصهار جزئياً ، فإن المعادن المنصهرة الأقل كثافة تتسرب إلى أعلى المعادن غير المنصهرة الأعلى كثافة ، وقد تنفصل عنها وتكون كتل من الالافا المنسحقة الخفيفة الكثافة Diapirs of Magma .

أما بقية الالافا (وتكون في هذه الحالة أعلى كثافة) فتتنساب إلى أسفل وتتميز الالافا في هذه الحالة بأنها من النوع فوق القاعدي Ultrabasic ويطلق على عملية الانصهار الأخيرة هذه تعبير تفاوت أو تباين الانصهار

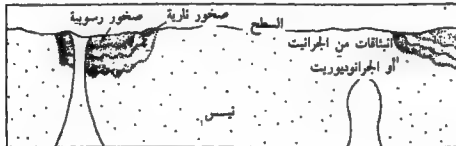


(شكل ١٥٥) تباين الانصهار الجزئي

الجزئي Fractional Melting Differentiation . إما كتل الماجما الأقل كثافة والتي انصهرت في البداية فتستمر في الصعود إلى أعلى وتجد لنفسها مكاناً في الألواح الجيولوجية المتراكبة Overriding Plates . وعندما تبرد الماجما تصبح جزءاً لا يتجزأ من تكوينات القارات وتزيد من حجمها . ووفقاً لهذه العملية فإن القشرة الأرضية تتكون فوق أعالي انزلاق الألواح الجيولوجية وانغماسها في مواد المانتل .

#### ب- الدروع أو الكتل الأركية : Archean Shield

تتميز صخور الدروع الأركية بتكوينها في نطاقات مقوسة أو حلزونية النظام ولا تحدث في نطاقات طولية الامتداد ، كما تحدث في تركيب جيولوجي مميز ويتألف أساساً من كتل الصخور الخضراء Green-stones وتنحصر بين مساحات واسعة من النيس Gneiss الذي يتداخل فيه تكوينات الجرانيت Granites والجرانوديوريت Granodiorites (شكل ١٥٦)



(شكل ١٥٦) نظام بناء الكتل أو الدروع الأركية القديمة .

وتتضمن هذه التكوينات الصخرية الأخيرة علامات تدل بارتباطها بقباب الباثوليت للتدخل Batholithic Intrusion والتي تقع فوق مناطق انزلاق الألواح الجيولوجية عند هوامش القارات . أما كتل أو أحزمة الصخور الخضراء فتتألف من تكوينات أرسابية وبراكانية تعرضت لعمليات التحول . وتقع مجموعة التكوينات النارية بين صخور الأنسيت المتمثلة في الأقواس الجزرية القارية ، وتكوينات الالافا الثيوليتية المكونة للحواجز المحيطية الوسطى . ومن ثم اقترح البعض أن الصخور الخضراء تمثل بقايا من أرضيات الأحواض البحرية الهامشية ، أو ما يسمى كذلك باسم أحواض أقواس الجزر المتراجمة Retro-Arc Basins . وتندفع للمagma الثيوليتية Tholeitic Magma عبر الشقوق في أرضيات الأحواض البحرية في حين تنبثق الالافا الأندسيتية Andesitic lavas من البراكين المتمثلة في أقواس الجزر القارية . ويوضح (شكل ١٥٧) الاقتراح الذي يفسر كيفية نشوء تكوينات التيس والصخور الخضراء الأركية على عدة مراحل تتمثل فيما يلي :

a- يتكون في البداية حوض بحري تتجمع الرواسب وفرشات الالافا فوق أرضيته .

b- تتعرض الرواسب لعمليات الطي والرفع تبعاً لتعرضها لاضطرابات تكتونية تحت تأثير اندفاعات الجرانيت والجرانوديوريت .

c- تكوين قوس جزري وحوض بحري جديدين .

d- انضغاط الرواسب تحت تأثير اندفاعات للمagma .

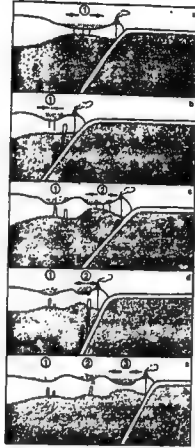
e- تكوين قوس جزري وحوض بحري ثالث ، ثم تعاد الدورة من جديد وينتج عن ذلك تكوين تركيب جيولوجي يماثل بدرجة كبيرة خصائص التركيب الجيولوجي للأراضي الأركية . وقد تكون هذه العملية هي المسئولة عن تكوين أقدم أجزاء القشرة القارية للأرض .

### ج- توالى الزيادة فى نمو المناطق البناية التكتونية :

#### Accretion of Orogenic Provinces

تميل مناطق الكتل الأركية التى يقل عمر صخورها عن ٢٠٠٠ مليون سنة إلى الوقوع عند حواف مناطق الكتل الأركية الأقدم عمراً . ويشبه هذا التركيب الجيولوجى ذلك الذى يظهر فى السلاسل الجبلية حين تظهر تكويناتها الصخرية إلى أعلى فوق جندب الجبال وتحاط هذه السلاسل الجبلية بتكوينات الكتل أو الدروع الأركية الأقدم عمراً . ويطلق على مثل هذه التراكيب الجيولوجية « مناطق بناية تكتونية » ( جوفية ) Orogenic Provinces .

ويمكن تفسير نمو القارات على أنه عملية نمو متواصلة . فقد تكونت الدروع أو الكتل الأركية الهامشية والسلاسل الجبلية والتى انضغبت إلى هوامش الكتل القارية بفعل الانضغاط خلال فترات متتامة . وينجم عن تكرار حدوث هذه العملية النمو التعاقبى Episodic Growth أو العرضى للقارات ( أى نموها على مراحل زمنية متعاقبة ) كما يتضح فى شكل (١٥٨) . ويحدث ذلك نتيجة لتتابع حنوث فترات الإرساب Deposition ولآخرى للبناء التكتونى Orogenesis عندما تتعرض هوامش القارات لتأثير عمليات الشد Tension (فى اتجاهين متضادين) والضغط أو الانضغاط Compression (فى اتجاهين متقابلين) . وهكذا تندمج الثنيات المقعرة الحوضية العظمى (فى قشرة الأرض) Geosynclines مع هوامش الأنواع الجيولوجية . وتتغطى أرضيات الثنيات المقعرة الحوضية العظمى بالرواسب القارية والمحيطية على السواء ، ثم تتعرض أرضيتها لعمليات متنوعة منها تباين الانصهار الجزئى للمواد اللافية وأثر ذلك فى دفع بعض المواد إلى أعلى ورمى بعضها الآخر إلى أسفل فى مناطق انزلاق الأنواع الجيولوجية وانغماسها فى مواد « المانتل » . وتندفع أجزاء من أرضية الثنيات الحوضية العظمى إلى أعلى لتكون تكوينات جديدة تضاف إلى القشرة القارية . ومن ثم فإنه يمكن تفسير نشأة التركيب الجيولوجى



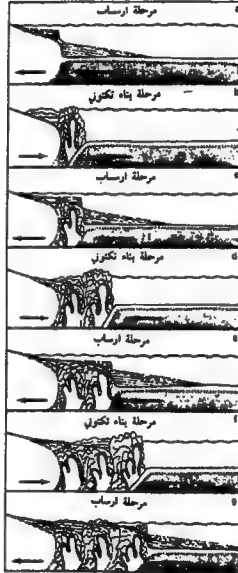
(شكل ١٥٧) تكوين الكتل الأركية القديمة في حالة تصادم القواسم الجند

للمحيطية والأحواض المحيطية المتراجمة .

لأقدم أجزاء القشرة الأرضية ، وفقاً للنظم التكتونية التي تعرضت لها هذه الألواح الجيولوجية . وتتألف معظم الدروع القارية القديمة من كتل أركية في الوسط ويحيط بها تكوينات صخرية أصغر عمراً وقد تتغطى هذه التكوينات الأخيرة بأخرى حديثة العمر الجيولوجي .

أما أحزمة التكوينات الجيولوجية الحديثة العمر الجيولوجي والممتدة في نطاق الكتل الأركية القديمة في الوسط فيبدو أنها كانت عبارة عن

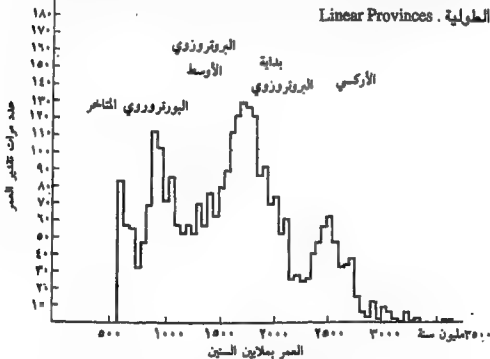
تكوينات انحبست فيما بين نطاقات الكتل الأركية القديمة . ومن ثم يمكن أن تتكون كتل أو دروع قديمة عندما تتصادم مع كتل أركية أصغر حجماً . وقد وجد الباحثون بقايا من صخور أرضيات المحيط (صخور السيماء) داخل تكوينات سلاسل الكورديلييرا مما يؤكد حدوث عملية التصادم القاري .



(شكل ١٥٨) تطور النمو البطني للقارات تبعاً لتزايده نمو الخطافات البطنية للمجال .

## د- تحريك القارات ونموها : Continal Movement and Growth

يوضح شكل (١٥٩) منحني التوزيع التكراري لتقدير عمر صفوح القاعدة التابعة لمرحلة ما قبل الكامبري ، ومنه يظهر أن عملية بناء القارات هي عملية تمتد على مراحل متعاقبة . وتوضح القيم العليا في المنحنى مراحل التكوين أو البناء القاري Phases of formation وعلى ذلك فإن أقدم مرحلة بناء للقارات حدثت منذ نحو ٣٨٠٠ إلى ٣٥٠٠ مليون سنة مضت ، وأنت إلى تكوين أقل من ١٠٪ من مساحة قشرة الأرض الحالية . ويرجع العلماء بأن نحو ٦٠٪ من حجم قشرة الأرض تم تكوينها خلال مرحلة البناء القاري الثانية خلال الفترة من ٢٩٠٠ إلى ٢٦٠٠ مليون سنة مضت . وتتكون كل أجزاء القشرة القارية التي تكونت خلال هاتين المرحلتين من الصفوح الأركية . ثم تعرضت القشرة الأرضية بعد ذلك لعملية بنائية تكتونية متلاحقة خاصة خلال الفترة من ١٩٠٠ إلى ١٧٠٠ مليون سنة مضت والفترة من ١١٠٠ إلى ٩٠٠ مليون سنة مضت ، وتميزت مناطق الحركات البنائية التكتونية خلال هاتين المرحلتين الأخيرتين بامتداداتها الطولية . Linear Provinces



(شكل ١٥٩) التوزيع التكراري للعمر الزمني لكتل ما قبل الكامبري .

ومن الحركات التكتونية التي أثرت في بناء القارات هي تلك التي حدثت منذ نحو ٦٠٠ مليون سنة مضت ولكنها لا تظهر على منحنى التوزيع التكرارى لمرحلة ما قبل الكامبرى . وفيما بعد هذه المرحلة البنائية الأخيرة تمكن العلماء من تسجيل حدوث عدة مراحل بنائية للجيال والقارات بصورة دقيقة عن تلك التي حدثت في مرحلة ما قبل الكامبرى . وقد ربط العلماء حدوث هذه الحركات البنائية للقارات خلال مرحلة الحياة Phanerozoic بما حدث للقارات من عمليات الزحزحة والتصامم . ووفقاً لتحديد اتجاهات القطبين الشمالى والجنوبى للكرة الأرضية واختلاف مواقعهما أمكن تحديد أبعاد القارات القديمة وأشكالها ومواقعها ، وذلك عن طريق دراسة عينات الصخور للمغنتة قديماً ، وتحديد أعمارها وعلاقتها باتجاهات الحقل المغناطيسى للأرض فى الوقت الحاضر .

ولما كانت معظم التكوينات الارسابية فوق صخور القارات التابعة لمرحلة الحياة تقل عمرها الجيولوجى عن فترة ما قبل الكامبرى فقد ساعد ذلك على سهولة تقدير عمرها النسبى . كما نجح العلماء فى تفسير ما تعرضت له القارات من زحزحة أفقية ( منذ نحو ٢٠٠ مليون سنة ) تفسيراً دقيقاً تبعاً لدراسة الانحرافات المغناطيسية لصخور أرضية المحيطات وعلاقتها بمواقع القطبين للمغناطيسيين الحاليين<sup>(١)</sup>.

---

(١) حسن أبو العينين « لألواح الجيولوجية ونظمها لتكتونية » كتاب مترجم - الجمعية الجغرافية الكويتية - (١٩٨٨) من ١ - ٢١٦ .

## الفصل العاشر

### الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف

#### الجيولوجية غير المستقرة

تتألف قشرة الأرض اليوم من نطاقات صخرية مختلفة تتنوع فيما بينها تبعاً لمدى تأثرها بالحركات التكتونية . فهناك لجزاء واسعة من قشرة الأرض تتألف من كتل صخرية قديمة العمر الجيولوجي يرجع معظمها إلى فترة ما قبل الكمبري، ويتألف القليل من أجزائها من صخور أعالي الزمن الجيولوجي الأول. ومن ثم فإن هذه الكتل الصخرية الصلبة تبدو مستقرة جيولوجياً ، ولم تتعرض لحدوث الالتواءات الألبية الميوسينية الكبرى Alpine Orogenesis . ومن النادر أن تتعرض بعض أجزاء تلك الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية حديثة بحيث يتكون فيها سلاسل جبلية رئيسية ، ويعزى ذلك إلى شدة صلابة صخورها من جهة ، وقلة سمك الفرشات الإرسابية المتجمعة فوق بعض أجزائها من جهة أخرى . وإذا تعرضت بعض أجزاء هذه الكتل الصخرية القديمة لحركات تكتونية ما ، فينجم عن ذلك تأثرها بحركات صدمية ، ومن ثم تتزحزح بعض صخورها ألقياً أو رأسياً وتتكون فيها مناطق الصدوع fault zones وتناثر بنماذج مختلفة من الصدوع المركبة والأحواض الصدمية الهابطة Grabens والهضاب الصدمية البارزة Horsts ، والأخابيد الصدمية الكبرى كالأخدود الأثريقي العظيم. ويطلق على هذه المناطق الصخرية من قشرة الأرض أسماء مختلفة ومن أكثرها شيوعاً تعبير الكتل القارية القديمة Ancient Land Masses ويقصد بذلك أجزاء القارات القديمة العمر الجيولوجي والشديدة الصلابة Highly Rigid ، و الكتل القارية المستقرة Stable Land Masses حيث أنها تعد أكثر أجزاء القارات استقراراً من الناحية الجيولوجية . ويطلق بعض الجيولوجيين على مثل هذه المناطق القارية تعبير الكتل القارية الدرعية الهضبية القديمة Ancient Shields ، ذلك لأنها نطاقات قارية قديمة العمر الجيولوجي من ناحية، وأنها جميعاً تبدو على

شكل سهول واسعة الامتداد ذات أسطح محدبة في القسم الأوسط منها Gently Convex Profiles ، وتنحدر انحداراً تدريجياً بسيطاً نحو الأطراف من ناحية أخرى.

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية أن الكتل القارية القديمة قد اتصلت بعضها ببعض الآخر عن طريق مناطق تلاحم جيولوجية تمثل في نفس الوقت مناطق ضعف جيولوجية . ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن تلك المناطق الأخيرة كانت في بداية نشأتها عبارة عن أحواض بحرية تكتونية Geosynclines تجمعت الرواسب الهائلة الحجم فوق قاعها خلال أزمنة جيولوجية طويلة متعاقبة ، ثم تعرضت هذه الرواسب لعمليات الرفع التكتونية وظهرت فوق سطح الأرض على شكل جبال وسلاسل جبلية ربطت الكتل القارية القديمة جيولوجياً بعضها ببعض الآخر . وحيث تكونت هذه النشاطات الضعيفة جيولوجياً بفعل الحركات التكتونية الألبية للهوسينية ، فإنها تعد مناطق حديثة غير مستقرة جيولوجياً ، ولا تزال تتعرض لجزائها المختلفة في الوقت الحاضر لحركات تكتونية متنوعة وتمثل أهم نطاقات حدوث الزلازل والبراكين.

### أولاً الكتل القارية المستقرة جيولوجياً

تمثل الكتل القارية المستقرة المناطق القديمة العمر جيولوجياً ، ومن ثم بقايا اليابس الأولى القديم Primitive Lands لقشرة الأرض . وقد كانت تلك الكتل - المنتشرة حالياً في مناطق مبعثرة في القارات الحالية فوق سطح الأرض - أكثر اندماجاً وارتباطاً مع بعضها البعض بل وكانت تكون كتل واسعة الامتداد في القارات القديمة العمر الجيولوجي . فقد اعتقد فجنر A Wegener بأن يابس قشرة الأرض كان متجمعاً في كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم كتلة بنجايا Pangaea وكان يمتد في أواسطها بحر جيولوجي قديم ، أطلق عليه اسم بحر تثنس Tethys . أما الباحث الأمريكي تاليور Taylor F B فقد أوضح بأن أجزاء واسعة من قارات أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا كانت ملتحمة مع بعضها في كتلة قارية قديمة أطلق عليها

اسم كتلة لوراسيا Laursia.

وقد أجمعت الدراسات الجيولوجية على أن يابس القسم الشمالي من العالم القديم (قبل العصر الكربوني) كان يتألف من قارتين، إحداهما كانت تقع في الغرب وأطلق عليها اسم كتلة أركتس Arctics والأخرى كانت تقع في الشرق وأطلق عليها اسم كتلة أنجارا Angara . أما يابس القسم الجنوبي من الكرة الأرضية فكان يتألف قديماً من كتلة قارية أطلق عليها كتلة جندوانا Gondwana وقد أظهرت نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة ، على أن هذه الكتل القارية الكبيرة تعرضت للانقسام والزحزحة الأفقية منذ بداية العصر الكربوني تقريباً ، وأخذ بعضها يتباعد عن البعض الآخر. وفي مواقعها الجديدة التي استقرت عندها تلك الكتل، وبعد أن توقفت عمليات زحزحتها وأخذت تنمو بالتدريج نتيجة لإضافة أجزاء جديدة من اليابس إلى أطرافها وهوامشها. وهكذا كانت ولا تزال تعد أجزاء تلك الكتل القارية القديمة النواة التي نمت وتنمو عليها كل من القارات الحديثة التي تظهر اليوم فوق سطح الأرض.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة يتبين أنها ممثلة في قارة أوربا حيث تظهر هنا كتلة فينو - سكانديا Fenno- Scandia (الكتلة الفنلندية - البلطية) وكتلة الرصيف الروسي. وفي قارة آسيا تمتد كتلة سيبيريا في القسمين الشمالي الشرقي والشمالي منها ، وكتلة الصين



شكل (١٦٠) التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة المستقرة.

فى القسم الشرقى، وكتلة الديكن فى القسم الجنوبى من آسيا . هذا وتمتد كتلة غرب استراليا فى قارة اسراليا، وكتلة جنوب افريقيا فى قارة افريقيا ، وكتلة شرق البرازيل وكتلة جيانا فى قارة امريكا الجنوبية، وكتلة لورنشيا (الكتلة الكندية) فى قارة امريكا الشمالية (شكل ١٦٠)

وليس من الحكمة فى دراستنا هذه أن نقوم بعض دراسة وصفية تفصيلية لجميع الكتل القارية، أو لكل منها على حدة، ذلك لأن جميع هذه الكتل القارية المستقرة تتشابه جيولوجياً وتشارك مع بعضها البعض فى كثير من الخواص الجيولوجية ، أو بمعنى آخر تكاد كل كتلة قارية منها تضم نفس الخصائص الجيولوجية التى يمكن أن نلاحظ فى غيرها من الكتل القارية الأخرى. ومن ثم يحسن فى هذا المجال بدلاً من القيام بالدراسة الوصفية لكل كتلة قارية على حدة أن نوضح الخصائص الجيولوجية التى تخص جميع الكتل القارية وتميزها عن غيرها من النطاقات الجيولوجية الأخرى فوق سطح الأرض. وهذا لا يمنع أيضاً من أن نقوم بعرض للتطور الجيولوجى والخصائص العامة لأحدى هذه الكتل - ولتكن الكتلة اللورنشية - كنموذج تطبيقى دراسى لبقية الكتل القارية الأخرى. وتتلخص الخصائص المشتركة العامة للكتل القارية فى النقاط التالية:

#### ١. التركيب الصخرى:

تتألف الكتل القارية المستقرة من صخور قديمة العمر الجيولوجى يرجع أغلب مجموعاتنا إلى عصر ما قبل الكامبرى Pre-Cambrian وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة بأنه كلما كانت تلك الصخور أقدم عمراً جيولوجياً ، فإنها تصبح أشد صلابه وتماسكاً عن غيرها من مجموعات الصخور الأخرى. كما تبين كذلك بأن الصخور الرسوبية فى تلك الكتل القديمة نتيجة لطول عمرها الجيولوجى وتعرضها لعمليات الضغط الشديدة بفعل الرواسب الأحدث عمراً والتى تراكمت فوقها خلال بعض الفترات الجيولوجية، ولتداخل مصهورات نارية فيها ، تعرضت بشدة لعمليات التحول الصخرى وأصبحت صخوراً متحولاً.

وتشتمل الكتل القارية المستقرة جيولوجياً على مجموعات متنوعة من صخور ما قبل الكامبري ومن بين أكثر أنواع الصخور شيوعاً في الكتل القارية صخور الفيس. وهذا الصخر الأخير يتحول عن كل من الصخور النارية والصخور الرسوبية، ويتداخل صخر الجرانيت في صخور ما قبل الكامبري القديمة على شكل عروق وسدود نارية. ومن بين أظهر الصخور الرسوبية في تكوينات الكتل القارية المستقرة صخور رملية خشنة الحبيبات تعرف باسم الجراي واكي Gray-Wacke. هذا إلى جانب صخور مختلفة أخرى منها صخور المجمعات (الكونجلومرات) Conglomerates والكوارتزيت، والارنداز، والفيليت، والشيسيت (١).

وفي القسم الأسفل من عصر ما قبل الكامبري نلاحظ مجموعة أخرى من الصخور تأثرت بعملية تحول بدرجات أقل من بعض الصخور السالفة الذكر، ومن بين هذه المجموعة من الصخور، الحجر الرمل الصلب، والديولوميت، والحجر الجيري الصلب، والصلصال.

## ٢- قدم العمر الجيولوجي:

من بين أهم الصفات الجيولوجية المميزة لجميع الكتل القارية المستقرة فوق سطح الأرض أنها قديمة العمر الجيولوجي، وأن معظم صخورها كما اتضح من قبل ترجع إلى فترة ما قبل الكامبري. ويقدر الجيولوجيون العمر الجيولوجي النسبي لصخور فترة ما قبل الكامبري بدراسة تأثير فعل العناصر المشعة Radio active elements مثل اليورانيوم والثوريوم والرابدييوم والپوتاسيوم في الصخور القديمة ومن نتائج هذه الدراسات تبين أن أقدم صخور ما قبل الكامبري بالكتل القارية القديمة في جنوب أفريقيا يرجع عمرها إلى نحو ٢٣٠٠ مليون سنة، وفي الكتلة اللورنشية إلى نحو ٢٤٠٠ مليون سنة، وفي الكتلة البلطية إلى نحو ٢٥٠٠ مليون سنة، وفي كتلة غرب أستراليا إلى نحو ٢٠٠٠ مليون سنة. (شكل ١٦٦).

(1) Stokes, L., and Judson, So, ( Introduction to Geology ) N.J. (1968)  
) 268- 275



شكل (١٦١) الصخور النارية والمتحولة القديمة لكثلة غرب استراليا - لاحظ  
تكوين الجذور الجبلية النارية القديمة.

### ٣. الجذور النارية القديمة :

من دراسة التركيب الجيولوجى للكتل القارية المستقرة جيولوجياً يتضح أن هناك بعض نطاقات من صخور الجرانيت مبعثرة فى مناطق متفرقة وخاصة بالقسم الأوسط من الكتل القارية . وتبدو صخور الجرانيت شديدة التأثير بفعل عوامل التعرية التى نجحت فى تسوية الكتل الجرانيتية وإزالة الكثير من تكويناتها. وأكد الباحثون بأن معظم تكوينات الجرانيت فى الكتل القارية المستقرة تمثل فى الواقع جذوراً نارية قديمة Ancient Igneous Roots لمرتفعات وسلاسل قديمة العمر الجيولوجى. وقد استطاعت عوامل التعرية إزالة الكثير من تكوينات هذه الجذور الجبلية خلال الأزمنة الجيولوجية الطويلة.

وأكد الأستاذ والتون مات Walton Matt فى عام ١٩٥٩ (١) ، بأن صخور الجرانيت فى كتل ما قبل الكمبرى المستقرة جيولوجياً لم تتكون على أعماق بعيدة فى باطن الأرض - كما هو معروف عامة عن صخور الجرانيت - ولكنها ربما تكونت نتيجة لتعرض صخور متحولة لعمليات تحول شديدة أكثر من مرة. وهكذا ظهرت حديثاً مشكلة جديدة فى الدراسة

### الجيولوجية تعرف بمشكلة نشأة الجرانيت The Granite Problem

وقد أوضح والتون مات ملاحظة أخرى، وهي أن صخور الجرانيت الترم مثل جنور المرتفعات القديمة في الكتل القارية توجد غالباً في أواسط تلك الكتل ولا تتمثل عند أطرافها، وإن دل هذا على شيء فإنما يدل في رأيه على أن تلك المناطق الجرانيتية الجذرية هي عبارة عن قلب الكتل القارية القديمة Heartlands. أما التكوينات الجرانيتية الممتدة عند هوامش الكتل القارية فتعزى نشأة الكثير منها إلى تداخل المصهورات النارية في صخور الكتل القارية خلال أزمنة جيولوجية مختلفة.

ومن ثم أوضح « مات » بأن الكتل القارية القديمة المستقرة كانت تتألف عند بداية تكوين قشرة الأرض ، ونشأة اليابس من صخور نارية تتمثل في صخور باطن الأرض التي تعرضت لعمليات البرودة التدريجية . وبفعل عوامل التعرية والتجوية الشديدة خلال فترة ما قبل الكامبري ، تعرضت الصخور للتفتت والتحلل وتجمعت الفتات والرواسب وتكونت الصخور الرسوبية حول الكتل النارية القديمة . واستمرت هذه الصخور الأخيرة تتجزأ وتفتت بفعل عوامل التعرية حتى لم يتبق منها في الوقت الحاضر سوى بقايا متناثرة تدل على أنها كانت جنوراً لسلاسل جبلية نارية قديمة . أما الصخور الرسوبية العظامية القديمة حول تلك التكوينات النارية فقد تعرضت بدورها لعمليات التحول الصخري ، وأصبحت شديدة الصلابة وتمثل نسبة كبيرة من جملة تكوينات الكتل القارية المستقرة القديمة.

### ٤. الكتل القارية القديمة نواة للقارات الحديثة :

إذا كانت الجنور النارية هي قلب الكتل القارية، فإن الأخيرة تعد بدورها النواة الرئيسية Nuclei or Cores التي نمت حولها كل من قارات العالم المختلفة. ومن ثم نلاحظ عند دراسة مراحل نمو القارات المختلفة بأن كلاً منها مركب من نطاقات صخرية حديثة العمر الجيولوجي، تحيط بالكتل القارية القديمة جيولوجياً . فقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول

نواتها القديمة الممتلئة في الكتلة اللورنشية، في حين ازدياد اتساع قارة امريكا الجنوبية بعد إضافة مساحات جديدة من اليابس الحديث العمر جيولوجياً إلى كل من كتلتى البرازيل وجيانا ، وكذلك الحال بالنسبة لنمو قارة أوروبا حول كتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى، ونمو قارة آسيا حول كتل سيبريا والصين والدكن، ونمو قارة استراليا حول كتل غرب استراليا، ونمو قارة أفريقيا حول كتلة جنوب أفريقيا .

#### ٥. انتشار بقايا السهول التحاتية القديمة:

حيث إن التكوينات الصخرية للكتل القارية ظهرت فوق سطح الأرض منذ فترات جيولوجية بعيدة، فإن عوامل التعرية عملت على تعرية أسطح هذه التكوينات ، وإزالة المحدثات، ونجحت في النهاية في أن تكون سهولاً تحاتية قديمة العمر الجيولوجى، وبما ساعد على زيادة امتداد السهول التحاتية فوق تلك الكتل القارية هو عدم تأثرها بحركات رفع وتكتونية تؤدي إلى تغيير المظهر التضاريسى لسطح الأرض، ومن ثم فقد عملت عوامل التعرية بحرية تامة في تشكيل المظهر التضاريسى العام لأسطح الكتل القارية، ولا تتوقف مجموعات السهول التحاتية في الكتل القارية على تلك السهول الحديثة النشأة والتي تظهر بقاياها على سطح الأرض وتشكل المظهر العام لسطح الكتل القارية، بل كذلك هناك الكثير من بقايا السهول التحاتية القديمة التي ترجع إلى الزمن الجيولوجى الثانى، وتوجد مدفونة أسفل التكوينات والإرسابات الحديثة، وتكشف بقايا السهول التحاتية القديمة عند إزالة بعض أجزاء من الإرسابات الحديثة التي تتراكم فوقها.

ومن بين اظهر بقايا السهول التحاتية القديمة التي يعزى عمر بعضها إلى الزمنين الجيولوجيين الأول والثانى ، ما يتمثل في القسم الجنوبى الغربى من الكتلة البلطية، والقسم الشمالى من كتلة سيبريا. وقد أوضح الأستاذ لاستركنج L. C. King (١) بأن اظهر بقايا السهول التحاتية القديمة العمر الجيولوجى واكثرها انتشاراً تتمثل في القسم الجنوبى من

كتلة إفريقيا. وحسب دراسات لامستر كنج تبين أن هناك بقايا لسهل تحتاني قديم تكون خلال العصر الكربوني فوق كتلة جندوانا، وأطلق عليه اسم سهل ما قبل الكارو Pre-Karoo Surfaces ، ولا تزال معظم بقايا هذا السهل التحتاني مدفونة أسفل التكوينات الصخرية الأحدث عمراً.

وقد عثر كنج فوق بعض أجزاء من بقايا هذا السهل القديم على أدلة جيولوجية تثبت تشكيله بفعل جليد العصر الكربوني ، وأوضح كنج بأن أقدم السهل التحتاني في كتلة جنوب إفريقيا هو سهل جندوانا Gondwana Surface ، ويتراوح منسوبه فيما بين ٥٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالي ويمتد بقايا هذا السهل القديم في باسوتولاند . وقد كان هذا السهل جزءاً من قارة جندوانا القديمة . كما ميز كنج كذلك مجموعة أخرى من بقايا السهل التحتاني القديمة في كتلة جنوب إفريقيا ، وأطلق عليها اسم سهل ما بعد جندوانا Post Gondwana Surface ، وتتمثل بقايا هذا السهل الأخير على ارتفاع ٢٥٠٠ إلى ٤٠٠٠ قدم فوق مستوى البحر الحالي .

ولما كانت هناك أجزاء واسعة من بعض الكتل القارية القديمة تتميز باستواء سطحها وانخفاض منسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر، فقد تأثرت الأجزاء الساحلية منها كثيراً بفعل طغيان البحر عليها، ولم تقتصر عملية تقدم البحر على بعض أجزاء من تلك الكتل خلال العصور القديمة ، بل كذلك خلال عصر البلايوسين . فقد أگنت الدراسات الجيولوجية بأن القسم الشمالي من كتلة سيبيريا، وكتلة الرصيف الروسي وأجزاء واسعة من الكتلة البلطية، والقسم الشمالي من الكتلة اللورنشية كانت كلها عبارة عن رفارف قارية Continental Shelves خلال الفترات الدفيئة الأولى من عصر البلايوسين وتبعاً للانخفاض التدريجي الذي تعرض له مستوى سطح البحر منذ نهاية عصر البلايوسين انخفضت مياه البحر عن هوامش الكتل القارية وتركت فوقها فرشاة واسعة من الرواسب البحرية

## ٦- الحركات التكتونية فى الكتل القارية :

تبعاً لشدة صلابة مخور الكتل القارية القديمة فلا ينجم عن عمليات الرفع التكتونية فيها تجمع قشرة الأرض وثنيتها أو طيها على شكل سلاسل جبلية . ومن ثم لا تتمثل مظاهر الالتواءات الألبية الحديثة (الميوسينية) فى أجزاء هذه الكتل المستقرة. ولكن ليس من الصواب أن نعتقد بأن الكتل القارية لن تتأثر بالحركات التكتونية وذلك لما يلى :

أ- قد ينجم عن بعض الحركات التكتونية الحديثة التى تعمل على ضغط وشد أجزاء من الكتل القارية القديمة تكوين مناطق تأثرت بشدة فعل التصدع Faulting ، أو بمعنى آخر فإن الأجزاء الصلبة من مخور الكتل القارية تتعرض للصدوع وذهنحة الطبقات أكثر من تعرضها للالتواءات أو تكوين ثنيات محدبة ومقعرة.

ومن أظفر المناطق الصدمية فى الكتل القارية القديمة، صدوع الأخنود الأمريقى العظيم فى شرق قارة أفريقيا والذى يسهم فى حدوث الزلازل . وأنت هذه الصدوع المركبة الكبرى إلى تكوين الأغوار الحوضية الصدمية، والهضاب البارزة الصدمية، والصدوع السلمية فى إقليم بحيرة بيكال بكتلة سيبريا، والصدوع الكبرى فى منطقة شمال بحر قزوين ومنطقة أكرانيا بكتلة الرصيف الروسى.

ب- قد تتدخل المصهورات النارية فى تكوينات الكتل القديمة خلال عصور جيولوجية مختلفة، وتظهر إما على شكل عروق وصدود نارية كما هو الحال فى بعض أجزاء من الكتلة اللورنشية وكتلة جنوب أفريقيا فى باسوتولاند ، أو على شكل قباب الباثوليث كما هو الحال فى غرب استراليا ، وتظهر أحياناً على شكل طفوح وفرشات هضبية بازلتية كما هو الحال فى القسم الشمالى من كتلة الدكن.

جـ - تعرضت معظم أجزاء الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية قديمة جداً أنت إلى تكوين سلاسل جبلية قديمة العمر الجيولوجى (ينتمى معظمها إلى الحركة الكارنية فيما قبل الكامبرى) وعملت عوامل

البحرية خلال الفترات الجيولوجية الطويلة على تشكيل هذه المرتفعات وتسويتها. فخلال فترة ما قبل الكامبري تعرضت الكتل اللورنشية لحركات رفع تكتونية من بينها ما يعرف باسم الحركة اللورنشية -Lauren tian، والحركة الكيواتية Keewatin وتأثرت الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسي بحركات رفع تكتونية قديمة تعرف باسم الحركة اللويزية -Lewi sian والحركة للمارلبيبة Marealbean وحركة جوثيك GOTHEC. ومن بين الحركات التكتونية لفترة ما قبل الكامبري التي تتأثر بها كتلة جنوب إفريقيا حركة سوازي لاند Swaziland وحركة سيراليون Sierra Leone

#### ٧. الكتل القارية القديمة وأثرها في تشكيل اتجاه السلاسل الالتوائية الألبية الحديثة :

إن كانت الكتل القارية القديمة المستقرة لم تتأثر بحركات الطي التكتونية الميوسينية، ولم ينتج فيها ملامح واضحة للسلاسل الجبلية الألبية، فإن كتل صغورها الصلبة لها بعض الأثر في تشكيل اتجاه بعض السلاسل الالتوائية الألبية . فمن دراسة التوزيع الجغرافي لهذه السلاسل الجبلية الأخيرة يتضح أن معظمها يتخذ شكل أقواس تحيط بهوامش الكتل القارية الصلبة. ففي أمريكا الشمالية تمتد السلاسل الجبلية الميوسينية على شكل أقواس حول القسم الغربي من الكتلة اللورنشية وتعرف هنا باسم مرتفعات ماكينزي Mackenzie وسلاسل الروكي Rocky وتمتد مرتفعات الأنديز على شكل قوس كبير حول الأطراف الغربية لكتلتى جيانا والبرازيل . وتمتد مرتفعات أوردال والكريات والألب في قارة أوروبا حول كتلة الرصيف الروسي. أما في قارة آسيا فتتمتد السلاسل الألبية الميوسينية ومنها مرتفعات تيان شان حول الأطراف الجنوبية لكتلة سيبيريا. وتمتد الأقواس الجبلية للهمالايا إلى الشمال من كتلة الذكن، وعندما تقابل سلاسل الهمالايا كتلة الصين الصلبة في الشرق، تنحرف على شكل أقواس جبلية كبرى تمتد من الشمال إلى الجنوب في منطقة أعالي أنهار سالوين وميكونج ، وتعرف هنا باسم

سلاسل أركانيوما وباسم سلسل دوانا في شمال شبه جزيرة الملايو،  
وبسلاسل سومطرة في جزيرة سومطرة.

### الكتلة اللورنشية القديمة

تشغل الكتلة اللورنشية Laurentian Shield أو كما يطلق عليها أحياناً اسم الكتلة الكندية نحو نصف مساحة قارة أمريكا الشمالية بل تمتد أبعادها شمالاً وتضم مجموعة جزر الأرخبيل الواقعة إلى شمال خليج هسن ومعظم أجزاء جزيرة جرينلند . وتمتد الكتلة جنوباً على شكل قوس هائل يحده خط من البحيرات الجليدية النشأة وتشمل من الغرب إلى الشرق بحيرات جريت بهر Great Bear وجرينت سليف Great Slave وأتاباسكا Athabasca ووينيبج Winnipeg ثم مجموعة البحيرات الخمس الكبرى وتشمل بحيرات سوبيريور Superior ومتشجن Michigan وهورن Huron وإيري Erie وانتاريو Ontario ومعظم القسم الأدنى من حوض نهر سنت لورنس.

وتعتبر الكتلة اللورنشية أظهر مثال لمجموعة الكتل القديمة جيولوجياً حيث تتألف تكوينات هذه الكتلة من صخور ما قبل الكامبري ومعظمها عبارة عن صخور رسوبية تعرضت لعمليات التحول ، وأصبحت تنتمي لمجموعة الصخور المتحولة ، وتتخللها جذور نارية لمرتفعات قديمة تمت إزالة تكويناتها بفعل عوامل التمرية كما يتداخل في بعض أجزاء هذه الصخور عروق وسدود نارية مختلفة . ولم تتأثر هذه الكتل بحركات الرفع التكتونية الألبية الحديثة إلا أنها تشكلت بالصدور وخاصة في الجانب الشرقي منها في هضبة ليرادور. وتبعاً لاستقرار هذه الكتلة تكتونياً وشدة فعل عوامل التمرية لفترة جيولوجية طويلة تميزت الكتلة بشدة استواء سطحها ، وقلة منسوبها وتكونت فيها سهول تحاتية قديمة . كما تشكل القسم الشمالي من الكتلة اللورنشية بتذبذب مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين ، وطفى البحر على جزء كبير منها وأدى ذلك إلى تكوين مجموعات جزر الأرخبيل إلى الشمال من خليج

هدسن. كما تشكلت سهول الكتلة اللورنشية القديمة بفعل الجليد الهلايستوسيني، وغطيت أجزاء واسعة منها بالركامات الجليدية، وتبعثرت فوقها الكثير من البحيرات الجليدية الناشئة.

وقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول الكتلة اللورنشية وأخذت مساحة القارة تزداد من فترة جيولوجية إلى أخرى نتيجة لإضافة مناطق جديدة من الهامس حول أطراف الكتلة القارية القديمة. ويمكن أن نلخص مراحل التطور الجيولوجي للكتلة اللورنشية وبالبيوجرافية قارة أمريكا الشمالية في النقاط التالية:

١- بعد أن انفصلت كتلة أركتس تزعزعت بعض بقاياها غرباً أصبحت الكتلة اللورنشية عبارة عن قلب أمريكا الشمالية Heartlands أو نواتها المركزية. وتمتد منطقة النواة القديمة هذه من شبه جزيرة لابرادور في الشمال الشرقي إلى أراغسي وايومنج Wyoming في الجنوب الغربي . وتتألف هذه المنطقة من صخور رسوبية ومتحولة قديمة ويتداخل فيها عرق وسدود نارية من الجرانيت، ويتمثل فيها كذلك جذور جبلية نارية. ويتراوح عمر هذه التكوينات من ٢,٠ إلى ٢,٨ بليون سنة (١). وترتفع نسبة السليكات في هذه التكوينات الصخرية القديمة وتقل فيها نسبة الكربونات.

وتشكلت الكتلة اللورنشية بحركات رفع تكتونية خلال الزمن الأركي أو الأوزوي Archaeozoic or Bozoec ، وأدى ذلك إلى تكوين سلاسل مرتفعات كورديليرا القديمة، وانكسترايل، وسينسيناتي، ونيوورونزويك. وقد تعرضت هذه المرتفعات لعمل عوامل التعرية الشديدة، كما أن بعض تكويناتها غطيت بالرواسب الأحدث عمراً.

وفي نهاية فترة البروتروزوي Proterozoic (نهاية ما قبل الكامبري) تعرضت الكتلة اللورنشية لحركات تكتونية أخرى تتمثل فيما يلي:

١- فترة سدبريان Sudbaryan وأدت إلى تكوين سلاسل جبلية.

ب- فترة هورنيان Huronian وأدت إلى حدوث نشاطات بركانية.

ج- فترة كوينانوان Keweenawan وترسب خلالها رواسب الحديد والنفاس في منطقة سوبيريور.

٢- بعد هذه المرحلة الأولى استقرت النواة القديمة تكتونياً . وتعرضت لفترة طويلة للفعل عوامل التعرية وتجمعت الكثير من اللغزات الصخرية حول النواة المركزية للقارة وتماصت وكونت نطاق من الصخور السمكية ، كما تداخلت فيها بعض التكوينات النارية الجرانيتية. ومن ثم تكون نطاق أراضى تشرشل Churchill (التي تشرف على خليج هدسن ) والولايات الوسطى في أمريكا الشمالية. وتدخل أراضى تشرشل في بناء قسم كبير من الكتلة اللورنشية، في حين غطت الصخور القديمة لمناطق الولايات الوسطى في الولايات المتحدة الأمريكية برواسب أحدث عمراً. ومع ذلك فقد تظهر بعض أجزاء من هذه الصخور القديمة العمر الجيولوجي فوق سطح الأرض إذا ما تعرضت لحركات رفع تكتونية كما هو الحال في الأطراف الشرقية الوسطى لسلاسل الكورديليرا وتلال بلاك Black Hills ، وجبال أوزارك Ozark Mts ، وفي بعض أجزاء من حوض أخدود كلورانو العظيم . وتتألف صخور هذا النطاق من الآلاف الحمضية الغنية بالسليكات، وصخور الأركوز Arkoses ، والجراي والكي Graywackes والدولوميت Dolomit ويتراوح عمرها الجيولوجي من ١,٨ إلى ٢,٥ بليون سنة .

٣- ثم بدأت بعد ذلك مرحلة جديدة أدت إلى بناء صخور منطقة جرنفيل Grenville توالى يرجع عمرها إلى نح بليون سنة مضت .

وتكون عند نهاية هذه المرحلة أكثر من ٦٠٪ من جملة مساحة أمريكا

الشمالية . وامتدت أراضي القارة من لبرانور في الشمال الشرقي إلى المكسيك في الجنوب الغربي. وتنتمي صخور جزيرة جرينلاند إلى نفس هذه الحقبة من الزمن الجيولوجي. وأهم تكوينات هذه الفترة القديمة تتمثل في صخور رسوبية قديمة العصر الجيولوجي ويتداخل فيها عروق وسنود جرانيتية وبعض تكوينات الكوارتزيت كما تظهر بعض الحفريات المتناثرة في الصخور الرسوبية ومن أهمها مجموعة المحالب الجيرية Calcareous Algae.

٤- وبعد مرحلة جرنفيل بدأت فترة جديدة ترسبت خلالها كميات هائلة من الفتات الصخرية الحطامية ، وخاصة في منطقة البحيرات الأمريكية وتكونت في هذه المنطقة الأخيرة نطاقات واسعة من صخور المجمعات وخاصة صخور مجمعات جوجاندا Gowganda Conglomerate والتي تحتوي على كثير من الأداة التي تشير إلى حدوث عصر جليدي قديم خلال فترة ما قبل الكمبري Pre-Cambrian Glaciation ويرجع بعض الجيولوجيين بأنه تكون في تكوينات الكتلة اللورنشية خلال تلك الفترة كثير من المعادن وخاصة الذهب في منطقة لونتاريو ومنطقة كوبيك وبعض خامات النيكل والنحاس واليورانيوم المبعثرة في مناطق مختلفة .

٥- ثم بامتلاء الأحواض الجيولوجية البحرية القديمة Geosynclines بالرواسب خلال الزمنين الثالث والرابع، وتعرض هذه الرواسب الهائلة الحجم لحركات الرفع التكتونية في الزمن الثالث وتكونت سلاسل الكورديليرا والتحمت مع الكتلة اللورنشية وظهرت أبعاد القارة بما يشبه مساحتها الحالية وفي عصر البلايوسين تشكلت سواحل القارة بظواهر جيومورفولوجية مختلفة نتيجة لتذبذب مستوى سطح البحر من فترة إلى أخرى ، كما عمل جليد عصر البلايوسين هو الآخر على تشكيل المظهر التضاريسي العام للكتلة اللورنشية خاصة ، ولقارة أمريكا الشمالية عامة.

## ثانياً : مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة بأن السلاسل الجبلية الكبرى التى تظهر بارزة فوق سطح الأرض اليوم، قد ترسبت موادها وصخورها (قبل تعرضها لعمليات الرفع التكتونية) فى أحواض بحرية تكتونية عظمى تعرف باسم Geosynclines. ويعد الجيولوجى الأمريكى جيمس هول James Hall أول من أشار علمياً إلى هذه الملاحظة حيث تبين أن سمك كل من الطبقات الصخرية المختلفة فى المناطق الجبلية الالتوائية أكبر بكثير من سمك نفس هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية المجاورة. وأوضح هول بأن الصخور العليا من الزمن الجيولوجى الأول بمرتفعات الأبلاش يبلغ متوسط سمكها نحو أربعة أضعاف سمك نفس هذه الصخور بالسهول الساحلية الشرقية لأمريكا الشمالية. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة كذلك بأن سمك كل من مجموعات الطبقات الصخرية فى مرتفعات الألب والروكى والأنديز والهمالايا والأورال يتراوح عادة من ٦ إلى ٩ أميال ، فى حين لا يزيد سمك كل من نفس هذه المجموعات الصخرية بالأراضى السهلية للجاورة عن بضعة آلاف من الأقدام فقط.

ومن دراسة التركيب الجيولوجى للطبقات الصخرية المناطق الجبلية الالتوائية ومقارنته بنظائرها فى المناطق المنخفضة السطح، تبين أن الأولى تتميز كذلك بتجانس الصخور فى الأجزاء الوسطى من كتلتها ، فى حين تتشكل جوانبها بمفتحات صخرية رملية وصلصالية ومواد حطامية وصخور المجمعات وكلها نتجت أساساً تبعاً لتعرض الصخور الأصلية لعوامل التحرية عند أطرافها الهامشية . كما تتميز الطبقات الصخرية الرقيقة السمك فى المناطق غير الالتوائية بعدم تجانس كبير بين أجزاء صخورها المختلفة . (١٦٢١). بالإضافة إلى هذه الملاحظات السابقة تبين أن الحفريات الممتلئة فى الطبقة الصخرية الواحدة تختلف عائلاتها كذلك إذا ما كانت فى الصخور الالتوائية السميكة من هذه الطبقة عن تلك المدفونة فى الصخور الرقيقة السمك . وتبين للعلماء بأن عائلات الحفريات

فى الصخور السمكية تتميز بأنها من الأنواع التى تعيش فى المياه العميقة  
 بينما تلك فى الصخور الرقيقة السمك تعد من الكائنات التى تعيش فى  
 المياه الضحلة .



شكل (١٦٧) الأحواض الجيولوجية الكبرى وتجمع الرواسب الهائلة السمك فوق  
 قاعها، وتتميز هذه الرواسب كذلك بتجانسها وحفرياتها من نوع تلك التى تعيش فى  
 المياه العميقة كما قد يتدخل فى تلك التكوينات مصهورات نارية.

وتبعاً لهذه النتائج المختلفة تأكد الجيولوجيون بأن الصفوح الالتوائية الهائلة السمك تجمعت أصلاً في أحواض بحرية تكتونية عميقة - Ceosyn clines وتراكمت فيها الرواسب الصخرية بصورة تدريجية، ثم تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التكتونية التي أدت إلى ظهورها على شكل سلاسل جبلية عالية ، وفي نفس الوقت تتركب من طبقات صخرية هائلة السمك بالنسبة لنفس نوع هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية التي لم تتأثر بحركات الرفع التكتونية.

ويرجع الفضل كذلك إلى الأستاذ الجيولوجي هوج Haug في تحقيق دراسات حول Hall وتفسير نشأة السلاسل الجبلية وكيفية تطور نموها. وكان للدراسات التي قام بها كل من بيلى Bailey (١) في عام ١٩٣٥ ، ودالي Daly (٢) في عام ١٩٣٨ ، وأمجروف Umbgrove (٣) في عام ١٩٤٧ الفضل الكبير في تعديل آراء هول Hall ، وتفسير بنية القشرة الأرضية ونشأة السلاسل الجبلية وإيضاح مراحل نموها.

وقد أوضح هوج Haug من نتائج دراسته لسمك الصفوح الإرسابية في البحار الجيولوجية القديمة ، ومجموعات الحفريات التي تتمثل فيها، بأن هذه البحار كانت تمتد على شكل السنة طويلة محدودة الاتساع إلا أنها هائلة العمق والطول وتحيط بالكتل القارية القديمة (شكل ١٦٣) . ومن أظهر هذه البحار الجيولوجية القديمة بحر تنس التي تتمثل بقاياها في البحر المتوسط وكان يفصل بين الكتل القارية في أوربا شمالاً وكتلة أفريقيا جنوباً ، ويطلق على القسم الشرقي منه بحر الهيمالايا، وكان يفصل بين كتلة سيبريا في الشمال وكتلة النكن في الجنوب. وفي الأمريكتين كان يمتد بحر الروكي - الأنديز الجيولوجي القديم ، وقد كان بحراً طويلاً يشغل القسم الغربي من القارتين.

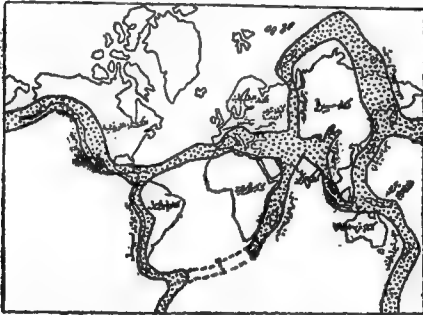
(1) Bailey, E.B., " Tectonic Essays..." Oxford, (1935).

(2) Daly R.A., "Architecture of the earth ", N.Y (1938).

(3) Umbgrove, T.H.F., "The Pluse Of The Earth", Hague, (1947).

ومن بين البحار الجيولوجية القديمة الأخرى بحر أورال الذي كان يفصل بين كتلة سيبيريا شرقاً وكتلة الرصيف الروسى غرباً ، وبحر موزمبيق وجزر الهند الشرقية (١).

وبعد أن تجمعت كميات هائلة من الرواسب فوق أرضية تلك البحار الجيولوجية القديمة تعرضت لحركات رفع تكتونية ، أدت إلى رفع قاع المحيطات القديمة وتجمع الطبقات الإرسابية والتوائها على شكل سلاسل جبلية عالية. وقد اشتمت تلك الحركات التكتونية خلال الزمن الجيولوجى الثالث، وأدت إلى تكوين مجموعة السلاسل الجبلية التى كانت بمثابة مواد لاحمة ضمت لجزاء الكتل القارية مع بعضها البعض وأدت إلى نمو القارات بشكلها الحالى، وتشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح قشرة الأرض.



شكل (١٦٣) الكتل القارية القديمة والبحار الجيولوجية القديمة التى تمثل مناطق ضعف جيولوجية حسب اقتراح الأستاذ هوج.

وعلى ذلك لنخص الأستاذ ولدريدج (١) مراحل نمو السلاسل الجبلية فى ثلاثة أنواع هى:

(١) محمد متولى موسى : وجه الأرض - القاهرة ١١٧

١- مرحلة تكوين الرواسب فى قاع البحار الجيولوجية القديمة وتعرف  
باسم Period of Lithogenesis

٢- مرحلة تشكيل هذه الرواسب الهائلة السمك بفعل حركات الطي  
Folding والتصدع Faulting وتعرف باسم Period of Orogenesis

٣- مرحلة تعرض السلاسل الجبلية بعد ظهورها على سطح الأرض  
لفعل عوامل التعرية ، وتعرف هذه المرحلة باسم Period Of Glyptogen-  
sis .

### حركات الرفع التكتونية الكبرى خلال الأزمنة الجيولوجية

يتضح مما سبق أن هناك أجزاء واسعة من القشرة الأرضية ظلت  
ثابتة مستقرة طوال فترات العصور الجيولوجية المختلفة وهى التى سميت  
باسم « الكتل القارية» فى حين تشكلت المناطق الحوضية البحرية الكبرى  
والتي تجمعت فيها كميات هائلة الحجم من الرواسب بحركات رفع تكتونية  
خلال فترات مختلفة من التاريخ الجيولوجى أنت إلى بناء السلاسل  
الجبلية التى نراها تشكل على سطح الأرض اليوم.

ولا يتوقف تأثير حركات الرفع التكتونية على السلاسل الجبلية  
العالية التى سراها فوق سطح الأرض اليوم، بل هناك آثار لحركات تكتونية  
قديمة جداً ( خلال فترة ما قبل الكامبرى ) ، عملت عوامل التعرية على  
تشكيل مظهرها، وإزالة محدباتها وثنياتها وأصبحت تبدو على شكل  
سهول مستوية السطح وتمثل نطاقات واسعة من الكتل القارية القديمة.  
وعلى الرغم من تعرض هذه السلاسل الجبلية القديمة لفعل عوامل  
التعرية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجى، وأصبحت تظهر على  
شكل سهول ، إلا أن تركيبها الجيولوجى لا يزال يدل على مظهرها الأولى  
القديم، ويمكن للباحث الجيولوجى أن يدرك الصورة الأصلية لمثل هذه  
التكوينات الالتوائية القديمة، عند دراسته للتركيب الصخرى وبنية طبقات  
تلك المناطق.

---

(1) Wooldridge, S.W., and Morgan, R.S., "Geomorphology ", London,  
(1961) p.75

ويوضح الجدول في صفحة (١٤٦) ، الحركات التكتونية الرئيسية التي انتابت القشرة الأرضية والأزمة الجيولوجية المختلفة التي حدثت خلالها وفيما يلي عرض موجز لهذه الحركات وما سببته في تشكيل القشرة الأرضية.

#### أ - التواءات ما قبل الكمبري: Pre-Cambrian Orogenesis

تعد مصخور ما قبل الكمبري النواة التي تركزت عليها الصخور الأحدث عمراً والتي تكونت حولها القارات المختلفة . وتتربك تكوينات هذه الفترة عامة من الصخور الرسوبية، إلا أنه تبعاً لعمرها الجيولوجي البعيد تعرضت كثيراً لعمليات التحول الصخري، ومن ثم أصبحت صخور هذه الفترة تتألف أساساً من النيس والشيسست والأردواز والرخام والكونجولمرات (صخور المجمعات) القديمة العمر الجيولوجي.

وظل الجيولوجيون يعتقدون بأن أولى الحركات التكتونية التي انتابت قشرة الأرض حدثت في النصف الأخير من الزمن الجيولوجي الأول. ولكن أكدت الدراسات الجيولوجية في أقاليم شارنود فورست Charnwood Forest وتلال مالفرن Malvern ، ومرتلعات جرامبيان Grampians في الجزر البريطانية ، على أن هذه المرتفعات قديمة العمر الجيولوجي وتكونت جنوبها خلال بداية العصر الكمبري وأطلق الجيولوجيون على هذه الحركة التكتونية القديمة اسم الحركة الكارنية .

وسرعان ما اكدت الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة حدوث حركات تكتونية أقدم عمراً من الحركة الكارنية في أجزاء مختلفة من القارات وتتمثل جنوبها في القشرة الخارجية للأرض وإن كانت أسطحها تشكلت تماماً بفعل عوامل التعرية المختلفة. ويمكن حصر أهم هذه الحركات فيما يلي:

١- تعد أقدم الحركات التكتونية المعروفة الآن في أمريكا الشمالية تلك التي حدثت خلال الفترة من ٢٦٠٠ إلى ٢٤٠٠ مليون سنة مضت، وتعرف باسم الحركة اللورنشية Laurentian ، والحركة الكيواتية Keewatin،

ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوروبا ، الحركة اللويزية Lewisian ،  
والحركة المارلبية Marealbean .

٢- أكدت الدراسات الجيولوجية وجود تشابه كبير بين الحركات  
التكتونية القديمة في جنوب أفريقيا وغرب استراليا وشبه القارة الهندية.  
وقد تشكلت هذه المناطق القارية جميعاً بحركات تكتونية عنيفة خلال  
الفترة من ٢٢٠٠ إلى ٢٦٠٠ مليون سنة مضت . وأهم هذه الحركات  
التكتونية في أفريقيا هي حركات سوازي لاند Swaziland وسيراليون .  
Sierra Leone وبولاوايان Bulawayan وروديسيا Rhodesia

٣- وتميزت الفترة من ٢٤٠٠ إلى ٢٠٠٠ مليون سنة مضت ، بهبوط  
قشرة الأرض نسبياً ، ولكن الفترة من ١٨٠٠ إلى ١٥٠٠ مليون سنة  
مضت انتهت قشرة الأرض حركات تكتونية كبرى من جديد وعرفت في  
أمريكا الشمالية باسم حركات اثاباسكا Athabasca . والهورنية Haronean  
، والسد بيرة Sudbury ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوروبا  
حركات أوكرانيا الصغرى Younger Ukrainian والسكوفينية Svcofenni-  
an ، والكارلية Karelian

٤- ومنذ نحو ١٠٠ مليون سنة مضت تعرضت قشرة الأرض  
لحركات تكتونية من جديد ، كان أهمها في أمريكا الشمالية حركة جرنفيل  
Grenville ، وفي أوروبا حركة جوثيك بالنرويج Gouc ، وفي أوروبا حركة  
جوثيك بالنرويج Gotheic ، وفي أفريقيا حركة كيباران Kibaran ، وفي الهند  
حركة سبورا Satpura

#### ب - الالتواءات الكاليدونية : Caledonian Orogenesis

شغلت هذه الالتواءات الفترة الجيولوجية الممتدة فيما بين السيلوري  
والديفوني ، واشتق اسمها من مرتفعات كاليدونيا في اسكتلند والتي تمثل  
لحسن أمثلة هذه المجموعة من الالتواءات القديمة. وقد أكدت الدراسات  
الجيولوجية تشابه نظام البنية والتركيب الجيولوجي بين كل من تكوينات  
اسكتلند، وشبه جزيرة اسكنديناوة، مما جعل بعض الجيولوجيين يرجع  
بأنهما كانتا أرضاً واحدة ثم هبطت بعض أجزائهما وشغل بحر الشمال  
تلك الأراضي الهابطة.

ومن ثم تتعد سلاسل الحركة الكاليدونية فى شمال غرب أوروبا فى اتجاه عام من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى، وتظهر مرتفعاتها فى جزيرة أيرلند، واسكتلند والقسم الشمالى من إنجلترا، وشمال ويلز، والقسم الجبلى الغربى من شبه جزيرة اسكتلندا ويحد هذه الجبال الأخيرة خط بحيرات جلينت Glinte Line الذى يفسحل بين مناطق المرتفعات الالتوائية الكاليدونية والكتلة البلطية القارية القديمة.

أما فى قارة آسيا فتظهر نتائج الالتواءات الكاليدونية فى بعض أجزاء من مرتفعات سيبيريا وخاصة مرتفعات كوليمان فى الشمال الشرقى ومرتفعات جنوب بحيرة بيكال ومرتفعات بوريات Buryat، ومرتفعات سايان Sayan التى تشغل الحوض الأعلى لنهرى أوكا وانجارا، وفى السلاسل الجبلية التى تتمثل على الجانب الشرقى من الحوض الأوسط لنهر ليتا، وتظهر السلاسل الجبلية الكاليدونية فى أفريقيا خاصة فى الصحراء الكبرى بمنطقة مرتفعات جورارة كمات تظهر فى مرتفعات جنوب شرق أستراليا فى ولاية نيو ساوث ويلز، أما فى أمريكا الشمالية فتمتد الالتواءات الكاليدونية فى هضبة بيدمنت والسهول الجنوبية الشرقية لمرتفعات الإبلش، وفى المناطق الهضبية الغربية الممتدة بين إقليم نيو إنجلند حتى إقليم فرجينيا.

وقد صاحب الحركات التكتونية الكاليدونية ثورات بركانية أدت إلى تكوين نطاقات كبرى من السدود الرأسية والمروقي والبراكين، وترجع التكوينات اللافية التى تتمثل تحت قاع المحيط أمام سواحل كورنول وديفون وكذلك بعض القمم الجبلية البركانية (بن نفيس Ben Nivis وجلين سوى Glen Coe وأوبان Oban وسيدلو Sidlaw وأوشيل Och-el) فى بريطانيا إلى المصهورات البركانية الكاليدونية (شكل ١٦٤)



شكل (١٦٤) المناطق المستقرة (الكتل القارية القديمة) وغير المستقرة من قارات العالم (مناطق الالتقاءات الكاليدونية والهرسينية والألبية).

#### جـ - الالتواءات الهرسينية : Hercynian Orogenesis

حدثت هذه الحركات التكتونية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجي امتدت من العصر الفحمي أو الكربوني Carboniferous حتى بداية العصر البرمي Permian . ومن ثم لم تحدث هذه الحركات على دفعة واحدة بل ظهرت دوراتها خلال مراحل متعاقبة فيما بين هذين العصرين . ويطلق على هذه الحركة الالتوائية الكبرى أسماء متعددة منها الحركات الأمريكية Armorian وخاصة في الجزر البريطانية وفرنسا ، في حين يطلق عليها اسم الحركات الهرسينية Hercynian أو الحركات الفارسية Variscan في بقية أجزاء أوروبا .

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن الحركة الهرسينية صاحبها كثير من عمليات التصدع الشديدة، وشكلت الصنوع المركبة الطبقات الصخرية التي تعرضت للإنتشاء والالتواء ومن ثم نجحت عوامل التعرية في إزالة الكثير من تكونات هذه الصخور وخاصة على طول أسطح الصنوع وفي مناطق الضعف الجيولوجي وأصبحت تبدو اليوم على شكل هضاب صدمية مضرسة.

وتمتد نطاقات الالتواءات الهرسينية في قارة أوروبا إلى الجنوب من نطاق الالتواءات الكاليدونية على شكل هضبات صدعية متوسطة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر الحالى . ومن بين أشهر هذه الهضبات كورنول Cornwall في جنوب غرب إنجلترا ، والقسم الغربى من هضبة المزيئا في شبه جزيرة أيبيريا ، وهضاب فرنسا الوسطى إلى الغرب من ليون (أوفرن Auvergne - كليرمون فرأ Clermont Ferrand - سفن Cavennes ) ومرتفعات بريتانى في غرب فرنسا ، ومجموعة الهضاب الصاعدة الوسطى في أوروبا وخاصة هضاب الفوج Vosges والغابة السوداء ، وبوهيميا ، والسويد ، وتاترا Tatra في تشيكوسلوفاكيا ، وهضاب مكيفكا Makeyevka للمتوسطة الارتفاع إلى الشمال من بحر أزوف Azov في الاتحاد السوفيتى . أما في قارة آسيا فتتخذ أهم المرتفعات الهرسينية في المناطق المرتفعة من الصين الداخلية وخاصة مرتفعات التاي Altai حول حوض زونجباريا ، ومرتفعات سايان Sayan Mts ، ومرتفعات خنجان-Khin gan وبابلونوى Yablonvy حول حوض شامو Shamo (جوبى Gobi) ومرتفعات ستانوى Stanovoy وتعد أجزاء واسعة من مرتفعات الإبلش الشمالية تابعة للحركات الهرسينية . أما في أمريكا الجنوبية فتظهر نتائج هذه الحركة في مرتفعات بتاجونيا ، وفي أفريقيا قد تعد بداية نشأة مرتفعات براكنزبرج تابعة لهذه المرحلة إلا أن هذه المرتفعات الأخيرة بلغت أعلى مراحل نموها خلال الزمن الثالث.

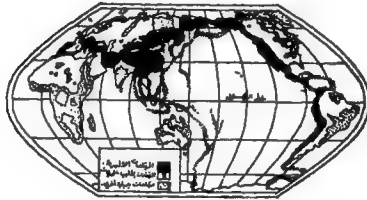
#### د - الالتواءات الألبية : Alpine Orogenesis (١)

تعتبر هذه الالتواءات أحدث الحركات التكتونية التي تعرضت لها قشرة الأرض خلال الزمن الجيولوجى الطويل ، واستندت دوراتها من نهاية الزمن الثانى ، وبلغت أعلى قوة لها خلال عصر الميوسين في الزمن الجيولوجى الثالث ، وعلى ذلك يقسم الجيولوجيون المراحل الثانوية التي أدت إلى تكون السلاسل الألبية إلى مراحل ما قبل الزمن الثالث ، وكانت الحركة

(١) سميت هذه الالتواءات بهذا الاسم نسبة لمرتفعات الألب Alps في قارة أوروبا .

الالتوائية في بدايتها وتميزت بضعفها العام، ثم مرحلة عصر الميوسين الأوسط الذي زادت خلاله درجة نمو هذه السلاسل الالتوائية، ثم كان نهاية مرحلة نمو السلاسل الالتوائية بنهاية عصر الميوسين.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الألبية في العالم يتضح أنها تتكون على شكل أقواس حول الكتل القارية القديمة ، وتظهر في إتجاهين مختلفين (شكل ١٦٥) وفي العالم القديم تمتد هذه السلاسل الالتوائية في اتجاه عام من الغرب إلى الشرق أما في الأمريكتين فتتمدد من الشمال إلى الجنوب وقد حاول فيجنر Wegener ودالي Daly ، وتايلور Fay-Ior تفسير اختلاف اتجاه الامتداد العام للسلاسل الالتوائية وذلك عن طريق زحزحة الكتل القارية القديمة من مناطق القطبين نحو خط الاستواء



شكل (١٦٥) السلاسل الجبلية الالتوائية واختلاف اتجاهاتها في قارات العالم .  
ونتج عن ذلك تكوين السلاسل الجبلية العرضية (الغربية الشرقية) في حين نتج عن زحزحة الأمريكتين غرباً تكوين سلاسل الكوردييرا-الأنديز الطولية (الشمالية- الجنوبية)

وقسم الأستاذ وليريدج Wooldridge (١) السلاسل الجبلية الألبية في القارة الأوروبية إلى مجموعتين هما:

أ - المجموعة الألبية الرئيسية : وتشمل من الغرب إلى الشرق مرتفعات أطلس الساحلية في شمال غرب أفريقيا وسييرا ليوندا على الجانب الجنوبي لحوض الأندلس في إسبانيا ، ومرتفعات البرانس في إسبانيا، ثم ينتمى إلى هذه المجموعة مرتفعات الألب ( الغربية والوسطى والشرقية ) وتمتد السلاسل شرقاً لتشمل اقواس مرتفعات ترانسلفانيا والكربات ، وإلى الجنوب من مرتفعات ترانسلفانيا تمتد اقواس مرتفعات البلقان ودروب التي تظهر مكملاتها في شمال تركيا وتعرف باسم مرتفعات بنطس أو « كانيك » Canek.

ب - المجموعة الألبية الأدرية: وتمتد جنوب المجموعة السابقة وتشمل من الغرب إلى الشرق قوس مرتفعات أطلس التل أو الصحراء، ومرتفعات الأبنين وكلاهريا في شبه جزيرة إيطاليا ، وسلاسل مرتفعات كابلا kapela وفالبيت Velebit والألب البينارية Panina Dinara في يوغوسلافيا وامتدادها في اليونان ، ومرتفعات بنديس Pindus في شبه جزيرة الليرة في اليونان، وتمتد السلاسل الألبية شرقاً لتشمل مرتفعات طوروس Taurus في جنوب تركيا.

أما في قارة آسيا فإن مرتفعات بنطس ومرتفعات طوروس تتلاقى في عقدة أرمينيا. ومن هذه العقدة الجيولوجية تتفرع سلاسل جبلية عالية أهمها سلاسل مرتفعات القوقاز فيما بين البحر الأسود وبحر قزوين، ومرتفعات البرز وهنديكوش ومرتفعات زاجوروس التي تنحصر بينها هضبة إيران، وتلتقى هذه السلاسل مع مرتفعات سليمان في عقدة جيولوجية كبرى هي عقدة بامير. ومن هذه المنطقة الأخيرة تتفرع اقواس جبلية رئيسية تتمثل في كون لون، وقره قورم والهيمالايا وتحصر بينها هضبة التبت، ومرتفعات تيان شان وتحصر بينها حوض تكلاماكان

ويلاحظ أن مرتفعات شرق التبت لا تتجه شرقاً حتى تقابلها كتلة الصين الصلبة بل تتجه السلاسل على شكل اقواس تحو الجنوب وتعرف هنا باسم سلاسل مانيبور ، وسلاسل أركانيوما ، ثم باسم سلاسل نواتاغى شبه جزيرة الملايو.

أما في أمريكا الشمالية ، فتعد اقواس المرتفعات الألبية من الجنوب إلى الشمال في المناطق التي كان يحتلها من قبل حوض البحر الجيولوجي القديم في غرب القارة. وتعرف الجبال في غرب المكسيك باسم سيرامغينا الغربية، ويمتد في شرق المكسيك سيراماندي الشرقية ويحصران بينهما هضبة المكسيك . وفي الولايات المتحدة الأمريكية يزداد اتساع السلاسل الجبلية وتشغل القسم الغربي من أراضي البلاد، وتعرف على الجانب الغربي المطل على المحيط الهادئ باسم السلسلة الساحلية ومرتفعات سيرانيفادا، وامتدادها المعروفة باسم مرتفعات كاسكيدوممرتفعات وأرتز، أما في الشرق فتظهر اقواس مرتفعات بيج هورن ولاسى ، وبارك ، والروكي . وقد تأثرت هذه المرتفعات بصنوع عنيفة ، كما غطت المصهورات اللافيية مناطق واسعة من هضبة كولومبيا ، وتحصر هذه السلاسل فيما بينها أحواض مرتفعة المنسوب منها الحوض العظيم، وحوض نيفادا، وحوض واساتش، وحوض كلورادو، وحوض أريزونا وموجاف.

وفي القسم الغربي من كندا وبشبه جزيرة السكا تظهر كمكلمات هذه المناطق الألبية الكبرى وتعرف هنا باسم السلسلة الساحلية كذلك ومرتفعات سانت إلياس المطلة على خليج ياكوتا، وفي الشرق تعرف باسم مرتفعات ماكينزي، ومرتفعات كاسير وأومينسا ، وتحصر هذه المرتفعات فيما بينها مضاب مرتفعة أهمها هضبة يوكن وهضبة أوجيلفى .

أما في أمريكا الجنوبية فتتمدد المرتفعات الألبية الكبرى في غرب القارة في المنطقة التي كان يشغلها حوض بحر الأنديز القديم. وتظهر هذه المرتفعات على شكل ثلاث شعب ثانوية تعرف باسم مرتفعات ماجدليتا Magdalena في كولومبيا، وسانتا مارتا Santa Marta على حدود

كولومبيا - فنزويلا ، ومرتفعات سانتا لى ماريا St.de Merida فى غرب فنزويلا ، وتلتقى هذه الشعب الثلاث جنوباً بجوار منطقة بركان كوتوپاكسى Cotopaxi فى اكواڨور ، ثم تتجه الجبال على شكل قوس هائل يشرف على السهول الساحلية الغربية الضيقة للقارة ويزداد اتساع نطاق الجبال فى بوليفيا ويظهر بعض القمم الجبلية العالية جنوب تيتيكাকা Titecaca حيث يبلغ منسوبها نحو ٢١,٤٩٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالى. ثم تمتد سلاسل للمرتفعات بعد ذلك فى اتجاه شمالى جنوبى إلى أن تتلاشى فى أقصى جنوب القارة بجزيرة النار ، تيرانلفوجى Tierra del Fuego

### نشأة السلاسل الجبلية

حاولت الدراسات الجيولوجية تفسير نشأة السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية والعوامل المختلفة التى تؤدى إلى تجمع القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية. وعنيت تلك الدراسات بعدة نقاط هامة من بينها:

أ - معرفة العوامل التى تؤدى إلى تجمع أجزاء القشرة الأرضية وهل هذه العوامل ثابتة أم تتغير من زمن جيولوجى إلى آخر.

ب - تفسير المراحل الثانوية للمتابعة لكل دورة إلثوائية كبرى ينجم عنها تكوين سلاسل جبلية ، ومدى الارتباط بين هذه المراحل الثانوية فى التكوينات الصخرية لقارات العالم.

ج - تتابع حدوث الدورات التكتونية المكونة للجبال Orogenic Cycles خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة، ثم أسباب تباين التوزيع الجغرافى للناطقات الالتوائية فوق سطح الأرض.

وأصبح من المعروف أن السلاسل الجبلية فوق سطح قشرة الأرض ترتبط بعوامل داخلية تكتونية تحدث فى باطن الأرض وتؤثر فى تشكيل قشرة الأرض . على ذلك فإنه يلزم على الباحث فى هذا المجال أن يحصر أفكاره فى تحديد العوامل الباطنية التى تؤدى إلى عدم استقرار مواد باطن

الأرض وأثر ذلك في نشأة الحركات التكتونية. وعرف الباحثون في البداية كذلك بأن باطن الأرض أعلى سخونة من مواد القشرة الخارجية للأرض ، ومن ثم فإن الحرارة الباطنية Internal Heat قد تكون هي العامل المسئول عن الاضطرابات التي تحدث في باطن الأرض .

وعلى ذلك اعتقد الباحثون في البداية بأن مواد باطن الأرض الساخنة في حالة شبه سائلة أو لزجة وتعرض للبرودة التدريجية، وينجم عن ذلك انكماش مواد باطن الأرض وتقلصها ، وتؤثر هذه العمليات في تجعد قشرة الأرض الخارجية التي تنجذب إلى أسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية أو بمعنى آخر تكوين الجبال في الثنيات المحدبة. وعرفت هذه النظرية القديمة باسم نظرية تقلص الأرض وانكماشها Contraction Hypothesis . ويعترض هذه النظرية ما يلي

١- تبعاً لانكماش باطن الأرض مع استمرار البرودة التدريجية لموادها فكان لابد وأن تتشكل قشرة الأرض بحركات ثني وعلى عامة تشغل جميع أجزاء سطح قشرة الأرض. ولكن يتضح من دراسة التوزيع الجغرافي للنطاقات الالتوائية بأن كلا منها له نطاق خاص محدد.

ب- إذا كانت تسوجات قشرة الأرض وتجمدها تعزى إلى البرودة التدريجية المستمرة لمواد باطن الأرض وانكماشها ، فكان ينبغي أن يكون الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركات الالتوائية الأحدث عمراً أطول بكثير منه في الحركات الالتوائية الأقدم عمراً. ولكن نجد في الواقع أن طول الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركات الالتوائية يختلف من دورة إلى أخرى. ففيلخ طول الزمن الجيولوجي الفاصل بين الحركة الكارنية والكاليدونية نحو ٢٠٠ مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو ١٢٥ مليون سنة وفيما بين الهرسينية والألبية نحو ٢٢٥ مليون سنة . ويلاحظ أن الحركة الألبية الأخيرة كانت أشد قوة وأثراً من الحركات التكتونية القديمة السابقة لها ، في حين كان ينبغي وفقاً لنظرية الانكماش

التدريجي لباطن الأرض بفعل البرودة التدريجية المستمرة أن تكون الحركات التكتونية القديمة هي الأتوى أثراً عن تلك الأحداث منها عمراً

وهكذا أصبح لا يمكن قبول النظرية التقليدية حول إنكماش باطن الأرض علمياً ، كما أصبحت هذه النظرية مرفوضة علمياً تماماً بعد أن اكتشف اللورد رايليه Lord Rayleigh في عام ١٩٠٦ تأثير العناصر المشعة Radioactive Elements في توليد حرارة عالية جداً وكامنة في الصخر، ومن بين مئات العينات الصخرية التي جمعت من قارات العالم المختلفة ولحسبها اللورد رايليه تبين أنه لم تخلو عينه واحدة من تلك العناصر المشعة المولدة للحرارة. ومن ثم استنتج العلماء بأنه في الوقت الذي تتعرض فيه مواد باطن الأرض للبرودة التدريجية ولمعاملات تقلص والانكماش ، فإنه في بعض أجزائها الأخرى يتولد فيها حرارة عالية جداً نتيجة لتفاعل العناصر المشعة.

وأت هذه المعلومات الجديدة إلى تعديل نظرية تقلص باطن الأرض القديمة وظهور نظرية جديدة تعرف باسم نظرية التيارات الحرارية الصاعدة أو نظرية أرثن هولمز الذي اقترحها في عام ١٩٣١

### نظرية التيارات الحرارية الصاعدة Convection Theory

يقصد بالتيارات الصاعدة التيارات الحرارية الناتجة عن تفاعل العناصر المشعة مثل الثوريوم والرابديوم والپوتاسيوم والصوديوم، ويشهد تأثير هذه التيارات في مواد الأرض عندما تكون في حالة لزجة وشبه سائلة عنها في الصخور المتجمدة الباردة واكننت نتائج الدراسات الجيولوجية بأن مواد الأرض صلبة أو متجمدة حتى عمق ٣٠٠ كم من السطح ، ولكن فيما بعد هذا العمق تصبح المواد لزجة ومرنة Plastic وشبه منصهرة بفعل الحرارة الباطنية.

وقد سعى آرثر هولمز في جميع كتاباته (١) لتحقيق نقطتين هامتين هما:

(1) a) Holmes, A., " Radioactive and earth movements " Trans. Geol. Soc. Glasgow, vol.18(1931)p.559-630.

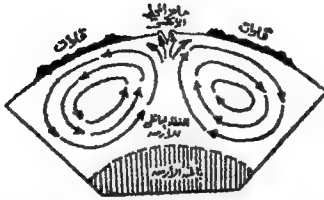
b) " The Thermal history of the earth ". Jour. Washington. Acad. Sci., Vol.23 (1931) P.169-495,

c) " Physical Geology ", London (1959), p.406-413.

١- تجمع اليابس في المناطق القطبية وتكوين قارات قطبية Polar Con-tinents ، في حين يتكون في المناطق الاستوائية بحار واسعة Equatorial Oceans ويعزى السبب في ذلك إلى حركة التيارات الحرارية الصاعدة في المناطق القطبية والهابطة في المناطق الاستوائية.

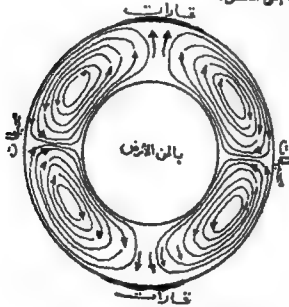
٢- يزداد تكوين المواد المشعة في صخور الجرانيت ، كما تعمل التيارات الحرارية أسفل التكوينات الجرانيتية وصخور السيلب العالية المسك على رفع هذه التكوينات الأخيرة إلى أعلى وتكوين القارات ، في حين يقل تأثير المواد المشعة في صخور السيلب المحيطية ، وعلى تلك فتتكون أسفل المحيطات تيارات حرارية صاعدة أقل قوة من تلك أسفل القارات ، وتتجمع التيارات الصاعدة في القسم الأوسط من المحيطات ، ونتيجة لذلك تتكون الحواجز المحيطية Submarine Ridges ثم تنحرف التيارات في اتجاهين متضادين من أواسط المحيطات وتصبح تيارات هابطة على جانبي المحيطات (بعد بروتها) ويساعد ذلك على تكوين الخنادق المحيطية العميقة (شكل ١٦٦) Deep Sea Trenches

وقد عمل على تحقيق دراسات هولز كثير من الكتاب فاهتم الباحث بيكريس Pakeris بدراسة اتجاهات وتحرك التيارات الحرارية الهابطة ، وتنوع قوتها ، وأثر ذلك في التوزيع الجغرافي لليابس والماء من ناحية وتكوين السلاسل الجبلية من ناحية أخرى. ويلاحظ بأن نتائج دراسات كل من هولز ، وبيكريس تتفق مع دراسات دالي Daly في نظريته عن انزلاق القارات Sliding of the continents ، ومع دراسات فجنر Wegener في نظريته عن زلزلة القارات ، حيث اتفق الجميع على أن اليابس كان متجمعا في المناطق القطبية وشغلت البحار الجيولوجية القديمة المناطق الاستوائية. ودرس بيكريس تمركز التيارات الحرارية الصاعدة ورجح بأنها تتحرك بمعدل بوصة واحدة في العام. ولكن تبعا لطول عمر كوكب الأرض ، نجحت هذه التيارات في أن تكون لها نظام خاص يتضح في (شكل ١٦٧) ، وتتغفل هذه التيارات الحرارية الصاعدة في مواد باطن الأرض كمثل التيارات الحرارية في طبقات الغلاف الجوي .



شكل (١٦٦) تكوين التيارات الصاعدة تحت القارات وتكوين الجواميز المحيطية في أواسط المحيطات بفعل تيارات صاعدة أقل قوة. وتتميز أعالي تلك الجواميز بتشكيلها بمناطق حوضية عميقة.

وأوضح بيكريس كذلك بأن هذه التيارات الصاعدة يمكن لها أن ترفع تشرة الأرض الخارجية إلى أعلى وينجم من ذلك تكوين القارات والسلاسل والجواميز المحيطية، في حين تؤدي في مناطق أخرى إلى تكوين البحار والأحواض عند هبوط التيارات إلى أسفل.



شكل (١٦٧) تحرك التيارات الحرارية الصاعدة في باطن الأرض وانزياحها في تكوين القارات القطبية والمحيطات الاستوائية حسب دراسات بيكريس.

### آراء الأستاذ جريجز Griggs والتيارات الحرارية المساعدة:

يعزى الفضل في انتشار نظرية التيارات الحرارية المساعدة إلى الأبحاث التي قام بها الأستاذ جريجز D.T. Griggs, 1939 (الأمريكي) (١) الذي أخذ على عاتقه تفسير آراء الأستاذ هولمز البريطاني مؤسس نظرية التيارات الحرارية المساعدة.

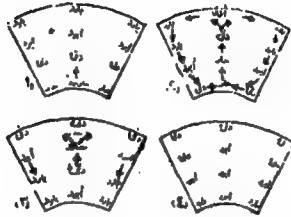
وأوضح جريجز بأن مواد الأرض باطن الأرض ليست مونة تماماً وتختلف درجة مرونتها ولزوجتها من جزء إلى آخر وعلى ذلك فلا تتحرك التيارات الحرارية المساعدة بحرية تامة في هذه المواد ، كما تختلف سرعتها وقوتها من جزء إلى آخر. ورجح جريجز بأن التيارات المساعدة تبدأ ضعيفة Slowly ، ثم تزداد حركتها Speed up بالتدريج إلى أن تصل إلى أعلى قوة لها Maximum ، ثم تتعرض للبرودة بعد ذلك ، وتضعف حركتها Slow down إلى أن تتلاشى نهائياً Stops . ولكن قد تعيد التيارات الحرارية المساعدة دورتها من جديد أو تعمل على بداية دورة جديدة قبل أن تتم الدورة الأولى مراحلها وذلك تبعاً لنشاط العناصر المشعة في باطن الأرض . وميز جريجز أربع مراحل رئيسية للدورة الكاملة من دورات التيارات المساعدة وتتخلص فيما يلي: (٢)

أ - المرحلة الأولى: تمثل بداية تكوين التيارات المساعدة البطيئة الحركة Slowly accelerating currents . وتستغرق هذه العملية نحو ١٣٥ مليون سنة (شكل ١٦٨ - ١) . وتتجه هنا التيارات من أسفل إلى أعلى أي من المناطق الساخنة إلى الأخرى الباردة.

---

1- Griggs, d., " The Theory Of The Mountain Building " , Amer. Jour. Sci. , vol. 137 (1939), 611-650.

2- Gilluly, J.etal, " Principles of Geology " , N.T. (1959), 445 449..

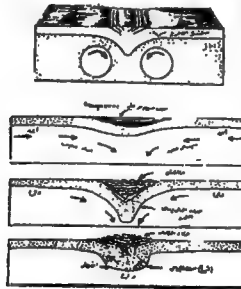


شكل (١٦٨) مراحل دورة كاملة للتيارات الصاعدة حسب دراسات الأستاذ جريجز Griggs

ب - المرحلة الثانية: تمثل ازدياد سرعة التيارات الحرارية Rapid Currents وفيها تزداد حركة التيارات في القسم الأوسط من مواد باطن الأرض وتندفع إلى أعلى من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة . وعندها تتجه التيارات شرقاً وغرباً وتهبط إلى أسفل لتحل محل التيارات التي تصعد إلى أعلى وتستغرق هذه العملية من ٥ إلى ١٠ مليون سنة (شكل ١٦٨ - ٢).

ج - المرحلة الثالثة: تمثل انخفاض سرعة التيارات الحرارية Decel-erating Current ، وفيها تتميز تلك التيارات بضعفها النسبي وتدنى القوى الحرارية الدافعة لها. ومن ثم لا تصعد التيارات إلى أعلى نحو المناطق الباردة تماماً كما كانت في المرحلة السابقة، بل لا تستطيع أن تتم دورتها إلى أعلى وتبدأ عمليات هبوطها إلى أسفل قبل أن تصل إلى المناطق الباردة العلوية، وتقتصر حركة التيارات الصاعدة في القسم الأوسط فقط من مواد باطن الأرض التي تعرضت للتفاعل الحراري الراديومي، أما الأطراف الهامشية فتكون شبه باردة وتستغرق هذه العملية نحو ٢٥ مليون سنة . (شكل ١٦٨ - ٣).

د . المرحل الرابعة: وتمثل مرحلة التوقف التام لحركة التيارات الصاعدة Quiescence وفيها تبرئمواد باطن الأرض ، ويتلاشى فيها تماماً تأثير تفاعل العناصر المشعة ، وتصبح المناطق السفلية من تلك المواد التي تعرضت لهذه العملية أبرد من المناطق العلوية. وتستغرق هذه العملية زمناً طويلاً يقدر بنحو ٥٠٠ مليون سنة. ولكن ينبغي أن نضع في الحسبان بأنه من الصعب أن تستقر مواد باطن الأرض بهذا الشكل خلال ذلك الزمن الجيولوجي الطويل دون أن تتجدد تفاعلات العناصر المشعة في مواد باطن الأرض من جديد (شكل ١٦٨-٤) وقد أوضح جريجوز عن تفسير قشرة الأرض الخارجية وتكوين جذور المرتفعات الجبلية في أشكال تصويرية توضيحية (شكل ١٦٩). وفي هذ الأشكال يرتبط نمو السلاسل الجبلية على سطح الأرض بمراحل نوبات التيارات الصاعدة كما تحقيق نتائج هذه النظرية بدراسة تجريبية عملية فعند تسخين مادة الجليسرين (ترمز إلى مواد باطن الأرض ) يتكون فيها عند البداية موجات



شكل (١٦٩) تتر التيارات الصاعدة في تكوين السلاسل الجبلية (الأشكال الثلاثة السفلية) أما المنظر العلوي فيوضح التيارات الحرارية الصاعدة التي حدثت في مواد زيت محرك الأسطوانات والجليسرين في العمل .

التيارات الصاعدة، وعند صعود التيارات إلى أعلى تؤثر في تشكيل المود العلوية التي عملها جريجز من زيت محرك الاسطوانات المختلط مع الأتربة والرمال (ترمز إلى مواد قشرة الأرض) وتكون جذور المرتفعات كمثل تلك التي تمتد تماماً في قشرة الأرض على الطبيعة. (المنظور الجسم العلوي من شكل ١٦٩) ولتحقيق نفس النتائج السابقة بصورة تجريبية عملية استخدم الأستاذ بول Bull A. J. اللطاط وعرضه لعمليات التفخين ومن ثم تكون فوق سطحه تجمعات معدنية وأخرى مقعرة بفعل تيارات حرارية صاعدة تكونت لدخل مادة اللطاط<sup>(١)</sup>.

وقد استخدم كل من الأستاذ هيس Hess, H.H. <sup>(٢)</sup> في عام ١٩٤٦، والأستاذ ديتز Dietz, R. S. في عام ١٩٦١، نظرية التيارات الحرارية الصاعدة في تفسير تكوين المواجه المحيطية الكبرى Submarine في لواسط المحيطات بفعل التيارات الصاعدة وتكوين الخنادق المحيطية العميقة Deep Sea Trenches على جوانب المحيطات بتأثير التيارات الهابطة<sup>(٣)</sup>

#### المظهر الجيولوجي العام لبعض الجبال الالتوائية

بعد هذا العرض العام لنشأة السلاسل الجبلية الالتوائية والحركات التكتونية التي أدت إلى ظهورها فوق سطح الأرض خلال أزمنة جيولوجية مختلفة يحسن أن نشير بإيجاز كذلك إلى بعض نماذج لهذه المجموعة من الجبال كأمثلة تطبيقية لإيضاح المظهر الجيولوجي العام لبعض السلاسل الجبلية الالتوائية، ومن ثم سنشير إلى مرتفعات الإبلاش الهرسينية في شرق أمريكا الشمالية، وبعض أجزاء من سلاسل مرتفعات الألب اللوسينية (الألبية) في لواسط أوروبا.

(1) Bull, A.J., " The Pattern of a contracting earth ", Geol. Mag. (1932) p.73.

(2) Hess, H.H., " Drawned ancient islands....", Amer. Jour. Sci. Vol.224 (1946) p.761-772.

## أولاً - مرتفعات الإبلش

أكد معظم الجيولوجيين بأن نشأة مرتفعات الإبلش تعزى إلى دور ساليا Saalian (من الوار الإلتواءات الهرسينية) ومن ثم ظهرت فوق سطح الأرض أساساً خلال نهاية العصر البرمي . وتمتد الطبقات الصخرية الإلتوائية لمرتفعات الإبلش من تحت الرواسب البحرية لسهل الباما فى الجنوب إلى شبه جزيرة دوفاسكوتشيا فى الشمال، أى لمسافة يزيد طولها عن ١٥٠٠ ميل ، حيث تختفى تلك الصخور الإلتوائية أسفل الرفارف القارية للمحيط الأطلسي . وتمتد محاور الإلتواءات وأسطح الصدوع فى نفس هذا الاتجاه العام أى من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى . وأوضحت الدراسات الجيولوجية بأن جوانب الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة بالقسم الشمالى من الإبلش تتميز باتساعها تبعاً لنصف ميل الطبقات الصخرية على جانب الثنيات الصخرية المختلفة ، فى حين تتميز جوانب الثنيات الصخرية للمحدبة والمقعرة بالقسم الجنوبى من الإبلش بخفيق إبعادها وتقاربها فيما بينها تبعاً لشدة ميل الطبقات الصخرية على جانبي الثنيات الصخرية المختلفة .

وأهم ما يميز نظم بنية صخور مرتفعات الإبلش تشكيلها بالصدوع الجانبية والزاحفة التى عملت على تقسيم الطبقة الصخرية الواحدة وزحزحتها لمسافات تزيد عن عشرات الأميال ومن لجمل أمثلة الصدوع الجانبية والزاحفة تلك التى تتمثل فى المنطقة الواقعة بين ناشفيل -Nash ville فى الشمال ، ومنتجمرى Montgomery فى الجنوب . وتظهر هذه المجموعة من الصدوع فى الصخور السفلى من الزمن الجيولوجى الأول والتى تقع فيما بين صخور شيست ما قبل الكامبرى فى الجنوب والصخور العليا للزمن الجيولوجى الأول فى الشمال . وتمتد نحو ثمانية أشرطة من أسطح الصدوع الجانبية فيما بين بلدة نوكسفيل Konxville فى الشمال الشرقي حتى بلدة تاسكالوزا Tuscaloosa فى الجنوب الغربى (أى مسافة تزيد عن ٢٠٠ ميل ٠ شكل ١٧٠)

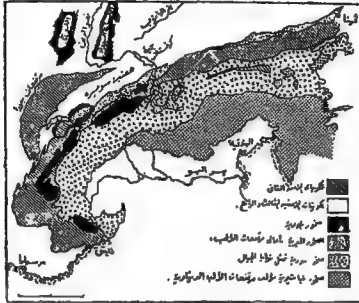
(1) Dietz, R.S., " Continental and Ocean basins ", Nature, vol.190(1961).



## ثانياً - مرتفعات الألب

يطلق اسم مرتفعات الألب على ذلك النطاق الجبلي الكبير الذى يمتد على شكل قوس فيما بين مدينة نيس على ساحل البحر المتوسط فى الغرب وضواحي إقليم مدينة فيينا فى الشرق، وتختفى الطبقات الالتوائية أسفل الفرشات الرسابية التى تؤلف سهول المجر .

وتعد مرتفعات الألب جزءاً صغيراً من مرتفعات حزام المرتفعات الألبية - الهيمالايا التى تمتد من مرتفعات البرانس فى أوروبا غرباً إلى مرتفعات أندونيسيا شرقاً . وتتشابه مرتفعات الألب مع مرتفعات الإبلان فى أن الطبقات الصخرية فيها قد تجمعت فى أحواض بحرية تكتونية كبرى *Geosynclines*، إلا أن مسخور جبال الألب تعزى إلى تكوينات الزمن الجيولوجى الثانى وأوائل الزمن الجيولوجى الثالث، بخلاف مسخور مرتفعات الإبلان التى ترجع إلى الزمن الجيولوجى الأول. ويعد التركيب الجيولوجى لجبال الألب معقداً إلى حد كبير وعلى الرغم من كثرة وجود الحافات الصخرية الحائطية الشكل على جانبيه الضوايق النهرية والتى توضح تعاقب الطبقات الصخرية المختلفة، وتعتمد الأبحاث الجيولوجية التى أجريت فى مناطق مختلفة من هذه السلاسل الجبلية، إلا أنه لا يزال هناك الكثير من المشاكل الجيولوجية لم تفسر بعد حتى اليوم . وفى نفس الوقت كذلك استطاع الجيولوجيون كشف النقاب عن الخصائص العامة لتكوينات جبال الألب ونظام بنية طبقاتها الصخرية المختلفة . ويوضح (شكل ١٧٨) التركيب الجيولوجى العام لمرتفعات الألب الأوربية تبعاً لأحدث ما وصلت إليه نتائج الأبحاث الجيولوجية. وسنشير فى حديثنا التالى إلى التركيب الجيولوجى لبعض أجزاء جبال الألب وخاصة القسم الغربى منها الذى يتمثل فى سويسرة وفرنسا (مرتفعات جورا والهضبة السويسرية ومرتفعات بريلس والسلاسل الجبلية العليا لمرتفعات الألب) ، حيث يضم هذا القسم من سلاسل مرتفعات الألب معظم المميزات الجيولوجية التى تتشكل بها هذه الجبال.



شكل (١٧١) التركيب الجيولوجي العام لمرتفعات الألب الأوروبية

## جبال الألب الغربية :

### أ - مرتفعات جورا : The Jora Mountain

تشتمل مرتفعات جورا فيما بين مرتفعات الغابة السوداء والفوج شمالاً، ومضبة سويسرة جنوباً وتتألف من صخور متنوعة يعزى معظمها إلى الزمن الجيولوجي الثاني. وقد تأثرت هذه التكوينات بثنيات صخرية محدبة Anticlines تنفصل عن بعضها البعض بواسطة ثنيات صخرية مقعرة عريضة الجوانب ، بسيطة الميل بحيث تبدو أحياناً على شكل طبقات شبه أفقية واسعة الامتداد وقد تأثر القسم الجنوبي من جبال الفوج بصنوع عرضية وأخرى زاحفة عنيفة وخاصة عند المناطق الهامشية فيما بين هذه الجبال والحواف الشمالية للمضبة السويسرية جنوباً.

ومن نتائج الدراسات التي قام بها بكستورف Buxtorf في مرتفعات جورا في عام ١٩٠٨ تبين أن هذه الجبال تقع فوق صخور ترياسية قديمة

لم تتأثر بفعل الحركات الميوسينية . واكد بكستورف بأن هناك كثيراً من الصخور المختلفة العمر الجيولوجي بمرتفعات الألب لم تتأثر بصورة مباشرة في جميع أجزائها بفعل حركات الرفع التكتونية الألبية . وعلى سبيل المثال تبين أن صخور الميوسين في مرتفعات جورا تعرضت لفعل الالتواءات في حين نجد صخور الميوسين في الهضبة السويسرية الواقعة إلى الجنوب منها لم تتأثر كثيراً بهذه الحركات التكتونية .

#### ب - الهضبة السويسرية : The Swiss Plateau

تتمتد الهضبة السويسرية فيما بين مرتفعات جورا في الشمال الغربي ، ومرتفعات الألب في الجنوب ، ويتمثل فيها بحيرات واسعة أهمها جنيف (اليمان) ، وزيورخ وكونستانس ، وتيشاتل . وتتلف صخور هذه الهضبة العالية من تكوينات الزمن الجيولوجي الثالث وتتركب من الحجر الرملي وصخور المجمعات الخشنة والتي تكونت حبيباتها تبعاً لتعرية صخور الألب الواقعة إلى الجنوب من هذه الهضبة .

وتحتل الهضبة السويسرية ثنية صخرية مقعرة عريضة الجوانب Broad Syncline ، إلا أن أطراف هذه الثنية تشكلت بحركات تكتونية مختلفة ، ومن ثم تبدو على شكل مجموعات من الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة الثانوية وخاصة عندما تقترب حواف الهضبة من جبال جورا في الشمال أو من سلاسل مرتفعات الألب في الجنوب .

#### ج - مرتفعات بريلبس : The Prealps

تتمتد مرتفعات بريلبس فيما بين الهضبة السويسرية والسلسلة الجيرية الرئيسية لمرتفعات الألب ، ويتراوح ارتفاعها من ٢٥٠٠ إلى ٦٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر . وأهم ما يميز هذه المرتفعات جيولوجيا ظهورها على شكل حافات حائطية الشكل هائلة الارتفاع .

وقد تأثرت هذه الحافات الصخرية الأخيرة بفعل الصدوع الزاحفة التي عملت على زحزحة الطبقات الصخرية القديمة مسافات بعيدة وجعلها

تبدو فوق الصخور الأحدث منها عمراً . (شكل ١٧٢)

وقد نلت الدراسات الجيولوجية على أن هذه الحافات الصخرية تتركب من تكوينات الزمن الجيولوجي الثاني ثم تعرضت للعمليات الالتوائية .  
الصدمية الزاحفة خلال بداية الزمن الجيولوجي الثالث ومتراكبة بصورة غير متوافقة فوق صخور الزمن الجيولوجي الثالث والتي تتركب منها الهضبة السويسرية.

وقد ساهمت عوامل التعرية الشديدة على إزالة غطاءات واسعة من الكتلة الالتوائية الانكسارية الزاحفة لمرتفعات بريلبس ، وبقيت الحافات الصخرية الصلبة على شكل جزر صخرية قديمة منعزلة يحيط بها صخور أحدث عمراً . ويطلق على مثل هذه الحافات الصخرية المنعزلة الناتجة بفعل الصدوع الزاحفة Overthrust faults اسم « الحافات المنعزلة » Klippes ، وتعرف بالألمانية Klippen وقد ساعد التركيب الجيولوجي لبعض الحافات الصخرية المنعزلة الناتجة بفعل الصدوع الزاحفة إلى الشرق من بحيرة لوسرن (ميثين Mythen - وروتفلو Rotehfuch) وإلى الجنوب منها (ستانسرهورن Stanserhorn . وبوشرهورن Boucher horn إلى انتشار ظاهرة الجزر الجبلية المنعزلة

د - سلاسل الصخور الجيرية العليا لمرتفعات الألب والهضاب النارية :

تتغطى السلاسل الجبلية الألبية بطبقات من الصخور الجيرية تعرف باسم الصخور الجيرية العليا الألبية . High Limestone ، وقد عملت الصدوع الزاحفة على رفع هذه الصخور الأخيرة وزحفها ، وجعلها تحت أعلى الطبقات الصخرية المختلفة وخاصة صخور هضبة أجويل روج البركانية Aiguilles Rouge Massif . ويوضح (شكل ١٧٢) خريطة جيولوجية للتكوينات الصخرية بجبال الألب الواقعة إلى الجنوب الشرقي من بحيرة جنيف ، ويتبين من هذه الخريطة أن الطبقات الصخرية قد إنتثت بشدة وتعرضت لعمليات الالتواءات والصدوع الزاحفة ، وأصبحت تبدو على شكل كتل صخرية زاحفة فوق بعضها البعض ، وتعرف هذه

الغطاءات الصخرية الزاحفة بالفرنسية باسم , Nappe وبالألمانية Decken



( شكل ١٧٢ ) خريطة جيولوجية لجبال الألب إلى الجنوب الشرقي

من بحيرة جنيف

وتتألف تكوينات هضبة أجويل من الصخور النارية والمتحولة ومنها الجرانيت والبازلت والشيشيت والنييس . ومن أجمل الصخور المتحولة في هذه المنطقة تلك التي تتألف منها تكوينات جبل مون بلان Mont Blanc بالأطراف الجنوبية من تلك الهضبة .

وعلى ذلك يمكن القول بأن جبال الألب تتألف من كتل صخرية هائلة السمك ، أرسبت في بحار جيولوجية حوضية عميقة ، ثم تعرضت بعد ذلك لحركات رفع تكتونية متعددة ومتعاقبة كان أشدها تلك التي حدثت في أواسط عصر الميوسين . وأدت هذه الحركات إلى ثني الطبقات الصخرية وإتوائها كما حدثت الصدوع المختلفة وخاصة الزاحفة منها ، في مناطق الضعف الجيولوجي بهذه الجبال ، وعملت هذه الصدوع بدورها على زحزحة الطبقات وتباين مواقعها وظهور الطبقات الصخرية الحديثة ، وتكوين ما يعرف باسم القسم أو الكتل الغطائية الزاحفة .

## الفصل الحادي عشر الجبال والتلال والهضاب أولاً - الجبال

يقصد بتمعبور الجبال Mountains الأراضي ذات القمم الهرمية الشكل التي تبدو مرتفعة المنسوب لما يجاورها من أراضي . ويحدد بعض الجيولوجيين بأن الجبال تقع عادة فوق منسوب ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر، أما تلك الأراضي التي تقع أسفل هذا المنسوب فتعرف باسم التلال Hills . ولكن من دراسة التوزيع الجغرافي للجبال واختلاف منسوبها لسطح البحر تبين أن من بين أهم ما يبرزها بالنسبة لما حولها من الأراضي المختلفة هو بلا شك زيادة منسوبها عن تلك الأراضي المجاورة لها وشكلها الهرمي . وعلى ذلك يظهر الجبل على شكل هرمي أو بمعنى آخر تبدو للناطق السهلية عند قممه العليا محدودة الامتداد بالنسبة لارتفاع الجبل أو امتداده الرأسى فوق سطح الأرض المجاورة والذي يحدد بواسطة معرفة طول المسافة المحصورة بين أعالي الجبل وأقدامه السفلى وقد يظهر في بعض المناطق قمم جبلية متجاورة تمتد على شكل سلسلة متصلة أو منفصلة الأجزاء . وتتألف كل من هذه السلاسل الجبلية من كتلة جبلية عالية بالنسبة لمنسوب سطح الأرض المجاورة وكثيراً ما يبدو فوق أعالي كل من هذه السلاسل الجبلية قمم جبلية عالية هرمية الشكل.

ولا تختلف الجبال والسلاسل الجبلية فيما بينها من حيث التوزيع الجغرافي والشكل العام لقط بل كذلك من حيث نشأتها والعوامل التي أدت إلى ظهورها وتكوينها ، والأزمة الجيولوجية التي ظهرت خلالها وقد اعتاد الجيولوجيون تصنيف مجموعات الجبال والسلاسل الجبلية تبعاً لظروف نشأتها، وتنحصر مجموعات الجبال تبعاً لذلك فيما يلى:

### (أ) الجبال البركانية Volcanic Mountains

تتألف الجبال البركانية أساساً من المخروطات البركانية Volcanic Cones . وعلى الرغم من انتشار الطفوح والمصهورات البركانية في أجزاء

واسعة من سطح الأرض إلا أن الجبال البركانية تعد محدودة الانتشار . ويعزى السبب في ذلك إما إلى ظهور معظم المصهورات البركانية فوق سطح الأرض على شكل غطاءات وهضاب لافية، أو إلى تعرض المخروطات البركانية لفعل عوامل التعرية الخارجية وإزالتها خاصة بعد توقف النشاط البركاني وانخفاؤه.

ويرتبط التوزيع الجغرافي للجبال أو المخروطات البركانية بمناطق الضعف الجيولوجية كما هو الحال في المناطق الجبلية الالتوائية الميوسينية، وفي مناطق التحام صخور السيل القارية بصخور السيلما المحيطية ( حد الأندسيت Andesitic line ) كما هو الحال على طول موامش المحيط الهادئ . ويتمثل أظهور نطاق لجبال المخروطات البركانية على طول موامش المحيط الهادئ ويعرف ذلك النطاق باسم « حلقة النار » Ring of Fire وتظهر المخروطات الصلابة البركانية على طول هذا النطاق في أجزاء متفرقة من مرتفعات الأنديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى والكنسية ، سيرامادير العربية ) ومرتفعات الكاسكيد في غرب الولايات المتحدة الأمريكية ومرتفعات كولومبيا البريطانية كما تظهر بعض المخروطات الجبلية البركانية بقوس حرجر الوشيدار أما في الصانب العربي للمحيط الهادئ فتظهر بعض المخروطات الصلابة البركانية في كمنشكا Kamshatka وجزيرة كوريل وبحر اليابان وفي أجزاء متناثرة من البحر المحيطية في شرق آسيا وجنوبها الشرقي وخاصة بجزر الفلبين وسنهييس وميونيغينا وسولوى ونيو كالييدونيا وجزر نيوزيلند (١)

إلى جانب هذا النطاق الرئيسي . تظهر الجبال البركانية كذلك في مناطق أخرى متفرقة من بينها جزر هاواي، وجزيرة مدغشقر، وبهضبة البحيرات الاستوائية، وبراكين حوض البحر الأبيض المتوسط، وبراكين البحر الكاريبي، وبراكين جزيرة أيسلند

وتختلف أشكال المخروطات الجبلية البركانية تبعاً للتكوين

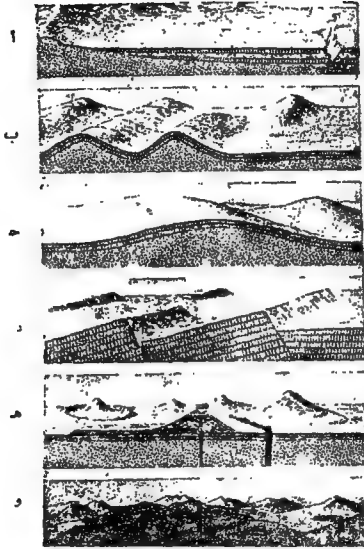
---

(١) حسن أبو المينين : أصول الجيومورفولوجية دار المعارف - الإسكندرية ١٩٦٦ . الطبعة الحادية عشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الإسكندرية ( ١٩٩٥ ) .

الجيولوجى للمصهورات اللافيه التى تنبثق من فوهات البراكين. ومن ثم قد تظهر الجبال البركانية على شكل مخروطات بركانية بازلتية ، أو قباب بازلتية أو مخروطات تتألف من الفبار والسندر البركانى Cinder Cones أو على شكل مخروطات معقدة التركيب الجيولوجى.

وتتزايد المخروطات الجبلية البركانية فى الحجم كلما ازداد انبثاق المصهورات البركانية واللافا من فوهة البركان. وعلى ذلك قد يبدو بعض الجبال البركانية على ارتفاع عشرات الأمتار فقط من منسوب سطح الأرض المجاورة لها فى حين يظهر بعضها الآخر على ارتفاع مئات من الأمتار فوق منسوب سطح الأرض المجاورة. (شكل ١٧٣).

وعندما تنخمد الثورات البركانية يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة، فى تشكيل المظهر العام للمخروط الجبلى البركانى. فإذا استمرت عوامل التعرية فى نحت مخروط البركان مدة طويلة من الزمن، قد ينجم عن ذلك تساقط جدران فوهة البركان إما فى باطن الفوهة نفسها أى فى غرف الصهير القديمة أو تنزلق على السفوح الجانبية للمخروط تبعاً لأثر الانحدار وفعل الجاذبية الأرضية. وتعمل عوامل التعرية وكذلك فعل التجوية على تفتيت مسخور البركان ونقل المفتتات الصخرية إلى مناطق بعيدة عن المخروطات الجبلية البركانية . وتبعاً لتوالى عمليات التآكل والنحت فى المخروط البركانى قد يزال أجزاء كبيرة من غطاءاته اللافيه بالتدريج ، ولا تبقى منه فى النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتقف منمّولة فوق سطح الأرضى المجاورة ويطلق عليها اسم « الهياكل البركانية » Volcanic Skeleton . ومن أجمل أمثلة هذه الهياكل البركانية بقايا مخروط بركان شيبروك Shiprock فى المكسيك ، وهيكىل سانت ميشيل St. Michel فى منطقة بيه فى فرنسا، وهيكىل ديفلز تاور The Devils Tower (برج الشيطان) فى ولاية وايومنغ وكذلك الجبال البركانية القديمة العمر الجيولوجى فى ولاية أريزونا ويوتا ، ومرتفعات كريسى Crazy Mts فى مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية .



شكل (١٧٣) بعض أنماط من الجبال والهضاب لاحظ من أعلى إلى أسفل ما يلي  
 أ- هضبة .

ب- جبال القوائبة قبل أن تتعرض لعوامل التعرية.

ج- جبال فسيحة تعرضت لعوامل رفع تدريجية قبل أن تتأثر بالتعرية.

د- جبال صناعية. هـ- جبال بركانية و- جبال مركبة المنشأة.

### ب - الجبال الصدعية : Faulted Mountains

قد تتكون بعض السلاسل الجبلية بفعل حركات التصدع التي تتعرض لها صخور القشرة الأرضية . ويعد الحوض العظيم في جبال الروكي بغرب الولايات المتحدة أظهر مثال لهذا النوع من الجبال الصدعية التي تمصر بينها أحواض صدعية هابطة . ومن ثم يطلق الجيولوجيون على المظهر التضاريسي العام للجبال الصدعية اسم « ظاهرات الأحواض والسلاسل الجبلية الصدعية » Basin and Range Topography

وقد ميز الباحثون نوعين رئيسيين من الحافات الصخرية تتمثل بتلك السلاسل الجبلية الصدعية هما :

أ - الحافات الصدعية : Fault Planes . ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التي نتجت أساساً بفعل الانكسارات (الصدوع) ونشأت على طول أسطح الانكسارات Fault planes .

ب - حافات أسطح الصدوع Fault Line Scarps ، ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التي نتجت أساساً بفعل عوامل التعرية والتجوية على طول أسطح الانكسارات أو بجوارها .

ومن ثم فإن الحافات الصدعية تتكون خلال حدوث عمليات التصدع نفسها وتقف عالية في نفس سطح الصدع ، في حين تتشكل حافات وجبال أسطح الصدوع أساساً بعد حدوث عمليات التصدع بعدة من الزمن تكون قصيرة أو طويلة تبعاً لمدى فعل عوامل التعرية واختلاف التركيب الصخري للمنطقة ومن ثم تتراجع الحافة الصدعية إلى الوراء حتى تظهر حافات الصدوع بعيدة عن إمتداد سطح الصدع نفسه . ومن بين أظهر السلاسل والحافات الجبلية الصدعية في الحوض العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية أجزاء كبيرة من سلاسل سيرانيفادا وسلاسل ستينز Stens Mts. وسلاسل واساتش Wasatch .

### جـ الجبال والسلاسل الالتوائية : Uplifted Mountains

تعد الجبال الالتوائية أهم مجموعة من مجموعات السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية تبعاً لامتدادها الكبير وتشكيلها أجزاء واسعة من سطح الأرض. ومن ثم يحسن أن نشير إلى الخصائص العامة لهذا المجموعة من الجبال وكيفية نشأتها والأزمة الجيولوجية التي حدثت خلالها بشئ من التفصيل. وتختلف مجموعة الجبال الالتوائية عن المجموعتين السابقتين من الجبال الأخرى حيث أن نشأتها لا ترجع إلى أثر انبثاق مصهورات لافية أو رفع كتل صخرية وهبوط لخرى بلعمل الصدوع العادية والعكسية الزاحفة، ولكن نبين أن هذه المجموعة من الجبال تكونت صخورها في أحواض بحرية تكتونية كبرى (ومن ثم تتميز صخور الجبال الالتوائية بسمكها الكبير) وبعدها تعرضت لعمليات رفع تكتونية أدت إلى ثني الطبقات الصخرية والتوائها

وحيث تمثل هذه الأحواض البحرية التكتونية هي الأخرى مناطق ضعف جيولوجية، لذا قد تتعرض السلاسل الجبلية الالتوائية وخاصة الحديثة النشأة منها لحداث البراكين والزلازل والصدوع في بعض أجزاء مختلفة منها ولكن يجب أن ندرك بأن هذه العوامل التكتونية الأخيرة تعمل فقط على تشكيل مظهر الجبال الالتوائية ولا تؤدي إلى نشأتها أو تكوينها

وتختلف الجبال والسلاسل فيما بينها من جزء إلى آخر فوق سطح القشرة الأرضية ويعزى هذا الاختلاف أساساً إلى ما يلي:

(١) اتساع الأحواض البحرية التكتونية والتي تجمعت فيها رواسب ومواد هذه الجبال ، وتتشكل سمك الطبقات الصخرية وتكوينها الجيولوجي العام تبعاً لظروف تراكمها فوق أرضية الأحواض البحرية التكتونية Geosynclines .

(٢) مدى قوة الحركات التكتونية التي أدت إلى رفع الطبقات الصخرية والتوائها وتمعجها والأزمة الجيولوجية المختلفة التي حدثت خلالها تلك

الحركات . ويلاحظ أن حركات الرفع التكتونية التي حدثت خلال أزمنة جيولوجية قديمة قد أعطت الفرصة لعوامل التعرية المختلفة أن تنحت هذه الجبال وتشكلها بظواهر متنوعة، في حين تلك التي حدثت حديثاً لم تقدم الوقت اللازم لعوامل التعرية لكي تقوم بمثل العمل الذي قامت به في تشكيل السلاسل الجبلية الالتوائية القديمة جيولوجياً.

### ثانياً - التلال

تختلف التلال Hills عن الجبال Mountains من حيث الحجم والارتفاع بالنسبة لسطح الأرض المجاورة وإن كانتا قد تتفقا معاً من حيث الشكل العام. فالتلال عبارة عن أراضى شبه هرمية أو قبابية الشكل تهدو أعلى منسوباً من سطح الأرض المجاورة لها، ولكن لا يزيد منسوبها عن ١٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة (حسب دراسات الأستاذ جيكي Geikie) . أما الأستاذ فان ريبير J.E Van Riper فأوضح بأن منسوب التلال يتراوح من ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض المجاورة وتزيد درجة انحدار جوانبها عن خمس درجات.

وقد أوضح الأستاذ ستامب D.L. Stamp في عام ١٩٦١ بأن الحد الفاصل والمميز بين كل من الجبال والتلال غير واضح تماماً ، ولكن يطلق تعبير «جبال» على الأراضى التي يزيد من منسوبها عن ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها ، وإذا إنخفض منسوبها عن ذلك فتدخل في نطاق «التلال» . وقد تظهر التلال كوحداث متمزلة أو على شكل مجموعات شبه متصلة مع بعضها البعض ، ومن ثم تبدو كسلاسل تلالية محدودة الارتفاع وكثيراً ما تكون مقطعة بفعل عوامل التعرية وتحتل أقدام السلاسل الجبلية الكبرى.

أما الهضاب Plateaux فهي كذلك أراضى مرتفع المنسوب فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها. ولكن من أهم ما يميز الهضاب هو أن سطحها العلوى يكاد يكون مستوياً أو قليل التضاريس وواسع الامتداد بالنسبة لارتفاع الهضبة المحدود (المسافة الرأسية المحصورة بين أقدام

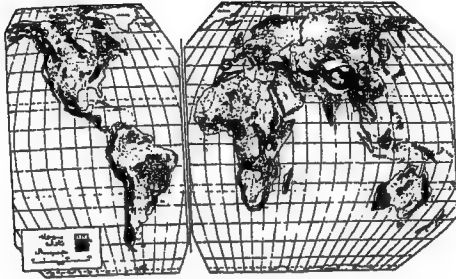
الهضبة وأعاليتها). وقد أوضح الأستاذ جيمس James, P.E. 1949 بأن من أهم مميزات الهضاب كذلك ظهور سطحها العلوى المسطح الشكل على مناسيب متشابهة ، فى حين أوضح الأستاذ كريسي Cressey , P B 1994 بأنه على الرغم من أن الأسطح العليا للهضاب قد لا تتشكل كثيراً بفعل عوامل التعرية إلا أن جوانبها غالباً ما تبدو حائطية أو رأسية الشكل تبعاً لفعل التعرية الرأسية للأتجار التى تحف بجوانبها.

### نشأة التلال:

تحتل التلال عادة النطاق الفاصل بين السلاسل الجبلية العالية والسهول المستوية السطح المنخفضة المنسوب ، ولكن قد تظهر بعض مجموعات التلال كذلك فوق الأراضى السهلية، وتعزى نشأة معظم التلال إلى ما يلى:

١- حدوث حركة ارتفاع تكتونية بسيطة فى منطقة ما ، فى نفس الوقت الذى تتعرض فيه أراضى تلك المنطقة لفعل التعرية الشديدة، ومن ثم لا ترتفع تلك الأراضى بالكثير من ٢٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة وتبدو على شكل تلال.

٢- تعرض المناطق الجبلية القديمة العمر الجيولوجى لعوامل التعرية المختلفة خلال فترات جيولوجية طويلة، ومن ثم لا يظهر فى النهاية سوى جذور الجبال التى تبدو على شكل مجموعات متناثرة من التلال. وعلى ذلك يلاحظ أن لمعظم السلاسل الجبلية مقدمات من مجموعات التلال تعرف باسم Foot Hills ، وقد كانت هذه التلال عبارة عن مناطق جبلية إبان مراحل نشأتها الأولى ، ولكن بحكم موقعها على هوامش المناطق الجبلية تعرضت كثيراً لفعل عوامل التعرية. (شكل ١٧٤).



شكل (١٧٤) التوزيع الجغرافي العام لكل من السهول  
والجبال والقيعان فوق سطح الأرض

#### تصنيف مجموعات التلال:

لا تتنوع مجموعات التلال فيما بينها من حيث المظهر  
الجيومورفولوجي فقط بل كذلك من حيث ظروف نشأتها والعوامل التي  
أدت إلى تكوينها وعلى أساس هذه العوامل الأخيرة يمكن أن نميز  
مجموعات التلال الآتية:

#### ١. التلال التي تتمثل فوق الكتل القارية القديمة جيولوجياً:

تعد مجموعة التلال التي تتمثل فوق أجزاء الكتل القارية القديمة  
جيولوجياً أكثر مجموعات التلال انتشاراً فوق سطح الكرة الأرضية. وكما  
سبقت الإشارة من قبل تتركب هذه الكتل القارية أساساً من صخور نارية

ومتحولة قديمة العمر الجيولوجى ، وظلت بنية تلك التكوينات شبه مستقرة خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل ، وإن كانت بعض أجزائها قد تعرضت لحركات رفع تكتونية فيما قبل العصر الكمبرى وخلال الزمن الجيولوجى الأول. وقد عملت عوامل التعرية المختلفة على تعديل مظهر تلك الكتل القارية ونحت صخورها وتسوية تضاريسها، إلا أن الصخور الأشد صلابة قاومت فعل عوامل التعرية واستطاعت أن تبقى على شكل تلال صخرية منعزلة ومن ثم أصبحت تمثل بقايا هياكل المرتفعات القديمة التى كانت تتمثل فوق أسطح تلك الكتل القارية فيما قبل العصر الكمبرى.

وتتألف مجموعات التلال فوق الكتل القارية القديمة خاصة من الجرانيت الشديد الصلابة والشيسيت وبعض الصخور المتحولة الأخرى، وهناك ارتباط وثيق بين التوزيع العام لمجموعات التلال فوق أجزاء واسعة من الكتل اللورنشية، بوكتل جيانا، وفوق بعض أجزاء من كتلة البرازيل ، وكتلة فينوسكنديا وبالقسم الجنوبى من الكتلة الأفريقية، وكتلة الدكن، وكتلة غرب استراليا. ويلاحظ أن بعض أجزاء الكتل القارية تتألف من صخور رسوبية رقيقة السمك نسبياً وتعرضت لعمليات هبوط تدريجية، وعلى ذلك قد تبدو هذه الأجزاء على شكل موائد صخرية واسعة الامتداد يختلف مظهرها التضاريسى عن مظهر المناطق غير المستقرة المجاورة لها. ومن بين أمثلة ذلك بعض أجزاء من كتلة الحبشة والقسم الغربى من كتلة البرازيل وأواسط كتلة أنجارا.

وتبعاً لتنوع عوامل التعرية المختلفة التى تقوم بتشكيل المظهر التضاريسى العام للكتل القارية اليوم، تميزت التلال باللقى تتمثل فوقها بخصائص متنوعة. فيلاحظ أن مجموعات التلال التى توجد فوق الكتل القارية بالمناطق التى تأثرت بالتعرية الجليدية قد تشكلت بفعل الجليد وقُشِطت جوانبها بفعل الركامات الجليدية، وكثيراً ما غُطِيت أسطحها بالرواسب الجليدية . كما تتفتت أجزاء التلال على طول أسطح الشقوق والفوالق بفعل تتابع التجمد والانصهار Freeze and thaw action . ومن ثم

تتآكل صخور هذه التلال باستمرار ويقل حجمها وتتشكل أسطحها ومظهرها بفعل الجليد، ومن بين أظواهر أمثلة تلال هذه المجموعة تلك التي تتمثل فوق الكتلة اللورنشية (الكندية) ، وفوق كتلة فينو سكانيديا.

أما مجموعات التلال التي تتمثل فوق الكتل القارية بالمناطق المعتدلة الباردة والمعتدلة ، فهذه هي الأخرى تعرضت لأثر فعل تتابع الحرارة والبرودة، ولفعل تجمد المياه في الشقوق الصخرية خلال الفصل البارد، وانصهارها (بعد اتساع فتحات هذه الشقوق ) خلال الفصل الدافئ، ومن ثم تنفتحت الأجزاء العليا من صخور التلال وتنحدر إلى المناطق السفلية تحت أقدامها بفعل عمليات زحف الرواسب والصخور Rock Creep أو تساقطها Rock Fall . وقد عملت الرواسب المشبعة بالمياه Solifluction والتي تزحف من أعالي التلال إلى أقدامها على تسوية جوانب هذه التلال بحيث أصبحت تبدو مستديرة ومستوية السطح وقبابية الشكل تماماً . Well rounded knobs

وتتميز مجموعات التلال التي تتمثل فوق الكتل القارية بالمناطق الاستوائية (خاصة تلك التي تعرضت لعمليات رفع محلية بسيطة) ذات المناخ الرطب بتمركزها لفعل الأمطار الغزيرة التي تؤدي إلى تكوين مجارى نهري شديدة العمق تحف بجوانب التلال وتعمل على تعميق الأراضي المجاورة لها، ومن ثم تبدو التلال على شكل أبراج عالية بالنسبة للأرض المجاورة لها وذلك تبعاً لشدة التعرية الرأسية للإنهار التي تعيق بهذه التلال.

٢- التلال التي تتمثل بالمناطق الجبلية التي تأكلت بعض أجزاء من صخورها الرسوبية:

تتمثل فوق سطح القشرة الأرضية مناطق واسعة تتألف من طبقات صخرية رسوبية بعضها صلبة وأخرى لينة ومتراكبة فوق بعضها البعض. وهذه تعرض هذه المناطق لحركات رفع تكتونية بسيطة ينجم عن ذلك ارتفاع منسوب السطح من ناحية، وشدة عمليات النحت الرأسى النهري

من ناحية أخرى. وخلال المراحل الأولى من تقطع الصخور المختلفة الصلابة بفعل التعرية النهرية تتكون تلال هرمية الشكل تنفصل فيما بينها بواسطة خنادق نهريّة عميقة، ومن ثم يبدو السطح شديد التضرس Coarse texture of dissection وخلال مراحل متتالية يشتد فعل النحت الرأسى النهري ويزداد تعمق الأودية التعرية كما يظهر أثر فعل التعرية الجانبية وتناكل جوانب التلال بالتدرج. وعند نهاية مراحل التطور الجيومورفولوجى للمظهر التضاريسى لهذه المنطقة، تبدو مجموعات التلال على شكل قباب شبه مستديرة الشكل ومستوية السطح، أو بمعنى آخر أقل تضرسا عما كانت عليه فى بداية تكوينها. ومن بين أمثلة مجموعات هذه التلال، تلك التى تميز مقدمات القسم الجنوبى الشرقى والشمالى الشرقى من مرتفعات الإبلاش، وبعض مجموعات التلال فى جنوب أوربا، والتلال التى تظهر عند مقدمات مرتفعات أورال فى الاتحاد السوفيتى

### ٣. التلال فى مناطق الكارست<sup>(١)</sup> الجيرية:

تتلخص أهم العوامل التى تساهم فى تكوين أقاليم الكارست الجيرية فيما يلى:

أ - زيادة سمك الطبقات الجيرية المختلفة.

ب - ارتفاع مسامية الصخور واتساع الفراغات بين حبيباتها.

ج - تأثير الصخور بفعل الشقوق والفواصل والفوالق التى سرعان ما تتسع فتحاتها بفعل التجوية وعوامل التعرية.

د - وقوع أقاليم الكارست فى مناطق رطبة تسقط عليها كميات كبيرة من الأمطار أو فى مناطق شبه جافة بشرط أن تنحدر إلى الصخور الجيرية للإقليم مياه جوفية بكميات كبيرة مهما كان مصدرها، ولكن يمكن القول أنه كلما زادت كمية التساقط فوق صخور إقليم ما، أدى هذا إلى سرعة

(١) سميت المناطق الجيرية التى يظهر فيها أثر فعل عوامل التعرية والتجوية الكيميائية بهذا الاسم

« أقاليم الكارست »، وذلك تيمناً لأظهر إقليم جيومورفولوجى جبرى فى العالم والمعروف باسم

« الكارست » فى يوغوسلافيا .

انجاز عمليات التجوية الكيميائية في الصخور الجيرية وتشكيلها بظواهر الكارست الجيرية. وفي هذه الأقاليم الجيرية كثيراً ماتعمل المياه السطحية والجوفية على إذابة أجزاء واسعة من الصخور الضعيفة التماسك في حين قد تبقى فوق سطح الأرض بعض الكتل الجيرية التلالية، والتي استطاعت مقاومة عمليات الإذابة والتحلل تبعاً لشدة صلابتها النسبية. ويطلق على هذه الكتل اسم التلال المنعزلة وتعرف بأسماء مختلفة منهما همز Hums في يوغوسلافيا ، وموجوتز Mogotes في جزيرة كوبا، وتلال بيبينو Pe-pino في بورتوريكو وتلال المسخوطيين في الجزائر .

وقد أوضح الأستاذ فان ريبير J E Van Riper . 1962 بأن المظهر التضاريسي والشكل العام لمجموعات التلال في المناطق الجيرية الكارستية يختلف من إقليم إلى آخر وذلك تبعاً لتطور منشأتها والظروف التي ساهمت في تكوينها. وعلى ذلك ميز ريبير بين مجموعتين رئيسيتين من التلال هما:

أ- تلال الأدريا تيك، وهي تلك التلال التي تميز إقليم الكارست اليوغوسلافي وتتميز بأنها مائلة الارتفاع وشديدة التضرس، ونشأت أصلاً بفعل التجوية الكيميائية في الصخور الجيرية الضعيفة التماسك وأظهر أمثلة هذه التلال تلك التي تتمثل بمرتفعات الألب الدلماشية.

ب- تلال جنوب شرقي آسيا، وهي تلك التلال التي تظهر في الأقاليم الجيرية الكارستية ببعض أجزاء من جنوب شرقي آسيا وخاصة في جنوب شرق الصين، وشمال الصين الهندية، وفي القسم الشمالي الشرقي من تايلاند. وتتميز هذه التلال بأنها أقل ارتفاعاً وتضرساً من تلال الأدريا تيك وتظهر دائماً بالشكل القبابي، وينتمي إلى هذه المجموعة كذلك التلال الجيرية في هضبة كوسيه بفرنسا، والتلال الجيرية التي تتمثل فوق بعض جزر البحر الكاريبي وفي بعض أجزاء من فنزويلا وشبه جزيرة يوكاتان.

#### ٤- التلال التى تظهر على جانبي الأودية النهرية وبأعالى الحافات الصخرية المتوازية الامتداد:

قد تشاهد مجموعات أخرى من التلال على جوانب الأودية النهرية إذا ما استطاعت صخور هذه التلال أن تقاوم فعل النحت الرأسى والنحت الجانبي للأنهيار وتختلف أشكال التلال فى هذه الحالة تبعاً للتركيب الصخرى ونظام بنية الطبقات من ناحية ومراحل تطورها الجيومورفولوجى من ناحية أخرى. كما قد تظهر التلال كذلك مجاورة لأقدام الحافات الصخرية المتوازية Paraller Ridges ، بل قد تظهر أحياناً فوق أعالي هذه الحافات . وتتميز نشأتها أساساً إلى تهاين فعل التعرية وتقطع جوانب الحافات وأعاليها بالأودية الجبلية القديمة المتوسطة المنسوب فوق مستوى سطح البحر.

بالإضافة إلى هذه المجموعات الرئيسية من التلال السابقة الذكر تجدر الإشارة كذلك إلى مجموعات أخرى من التلال تظهر بصورة محلية فى مواقع مختلفة وتحت ظروف خاصة ، ولكن يصعب وضعها على خريطة للعالم ذات مقياس صغيرة تبعاً لامتدادها الممدود وشغلها مناطق محدودة المساحة. فقد تظهر التلال فوق بعض أجزاء من السهول الفيضية الرسوبية عندما لا تستطيع المجارى النهرية أن تنحت جميع التكوينات الجيولوجية التى تتمثل فوق أرضية السهل الفيضى، ومن بين أظهر هذه المجموعة من التلال ، تلك التى تتمثل فوق بعض أجزاء من السهول الفيضية لأودية المسيسيبى ، وإيراواندى، وسالوين وميكونج. كما تظهر مجموعات أخرى من التلال خاصة فوق مناطق السهول الجليدية (وخاصة بجوار الركاسات الجليدية) ، وفى الناطق للصخرية الوعرة Badlands ، وفى مناطق سهول الحمادة الصخرية بالمحارى الحارة الجافة . كما تظهر التلال كذلك فوق الهضاب والسهول البركانية النشطة وفوق الهواجز والجزر المرجانية.

## ثالثاً - الهضاب

من الصعب تحديد إرتفاع الهضاب تبعاً لمتسوب معين فوق مستوى سطح البحر، ولكن يقصد بتعبير « هضاب » مناطق واسعة من سطح الأرض ترتفع فوق مستوى سطح الأرض المجاورة لها وتتميز بأن أسطحها العليا شبه مستوية السطح وأن جوانبها شديدة الانحدار وتبدو حائطية الشكل في معظم الأحيان. وعلى ذلك تختلف الهضاب فيما بينها من حيث الشكل التضاريسي العام والحجم والامتداد والتكوين الجيولوجي لصخورها والنشأة والتطور الجيومورفولوجي وعلى أساس اختلاف نشأة الهضاب وظروف تكوينها يمكن أن يميز المجموعات الهضبية الكبرى الآتية

### ١- الهضاب البركانية Volcanic Plateaux

تظهر بعض الهضاب فوق سطح الأرض أحياناً وهي تتألف من مصهورات ومواد لافية انبثقت من باطن الأرض ويعبري ظهورها على شكل غطاءات لافية هضبية إلى خروج اللاوا واسعاها من باطن الأرض. خلال فتحات وشقوق كثيرة وموهات متعددة و من ثم لا تنحصر اللاوا فوق سطح فوهة واحدة لتكون ظاهرة المهروط البركاني بل تنحسر اللاوا فوق سطح الأرض وتنتج من المنحدرات العليا إلى المناطق السفلى وتغطي الأرض بفرشة سميكة من الطفوح البركانية وينتفخ انساع هذه الهضاب البركانية تبعاً لمدى حجم المصهورات اللافية التي تدفع من باطن الأرض من ناحية، بمدى توالي حدوث الثورات البركانية أو استقرارها، وابعادها من ناحية أخرى. ويطلق الأستاذ بولارد F M Bullard <sup>(١)</sup> على عملية انبثاق المصهورات اللافية خلال الشقوق الصخرية الكثيرة اسم نوع ثورات أيسلند البركانية Icelandic Type حيث تتمثل أنظر أمثلة هذا النوع من الهضاب البركانية فوق أجزاء واسعة من جزيرة أيسلند.

(1) Bullard, F M., " Volcanoes in history . in theory, in eruption ", Univ Texas Press, (1972)

واكد بولارد ان هذه الثورانات البركانية تنبفع من الشقوق الصخرية، وتنبثق إلى السطح لتكون غطاءات هائلة الحجم من المصهورات اللافاية تغطي مساحات واسعة من سطح الأرض. ويعزى عدم قدرتها على تكوين مخروطات بركانية إلى أن اللافا تتكون من مصهورات بازلتية شديدة اللبونة من ناحية، هذا إلى جانب خروجها عن طريق الشقوق الكثيرة المتعددة من ناحية أخرى. ولا يتحتم انبثاق اللافا من الشقوق العديدة خلال مرحلة واحدة بل تنبثق المصهورات البركانية خلال مراحل مختلفة متعاقبة تبعاً لكيفية حدوث الثورانات الداخلية في باطن الأرض نفسها. ومن ثم ليس من الغريب أن نجد بعض أجزاء من الهضاب البركانية المستقرة والتي تشكلت بفعل التعرية تتعرض من جديد لحدوث انبثاقات اللافا خلال فتحات الشقوق والفوهات المتعددة وتغطي تكويناتها بغطاءات جديدة من اللافا الحديثة العمر الجيولوجي . ومن أحسن أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التي تتمثل في جزيرة آيسلند، والهضاب البركانية الواسعة الامتداد في حوض كولومبيا في شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية . وتنتشر الهضاب البركانية (في هذه المنطقة الأخيرة) في أجزاء واسعة من ولايات واشنطن، وأوريجون، وكاليفورنيا، وإيداهو، وتغطي مساحة تزيد عن ٢٠٠,٠٠٠ ميل مربعاً ، وهضاب شيلي البركانية التي تشمل مناطق واسعة من جنوب غرب أمريكا الجنوبية.

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الهضاب البركانية كذلك القسم الشمالي الغربي من هضبة الدكن في شبه القارة الهندية الباكستانية، وهضبة دراكنزبرج في جنوب أفريقيا وهضبة برانا في جنوب البرازيل ، والهضاب البركانية في لورجواي ، والأرجنتين، وبالقسم الأوسط من الجزيرة الشمالية لنيوزيلند ، وهضبة الحبشة البركانية وهضبيات اليمن، وهضبة حوران، والهضاب البركانية إلى الشرق من بحيرتي طبرية والحولة في القسم الجنوبي الغربي من سوريا ، والهضبيات البركانية إلى الشمال الغربي من بحيرة حمص في سوريا.

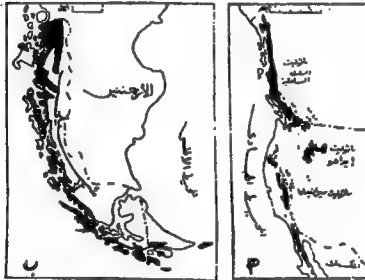
وقد لُوخِصَت الدراسات التي أُجريت في أجزء واسعة من هذه الهضاب البركانية المختلفة على أنها تعزى إلى انبثاق اللافا خلال فترات القوّهات والفوالق والشقوق Fissure Eruption . كما تبين كذلك بأن عملية انبثاق اللافا كانت تدريجية وحدثت ببطء شديد حيث لم يعثر في تكوينات هذه الهضاب على مواد حطامية صخرية بيروكلاستية مختلطة مع البازلت واللافا.

ومن ثم يحسن الإشارة إلى المظهر العام لإحدى هذه الهضاب البركانية (ولتكن هضبة كولومبيا البركانية) كنموذج تطبيقي لهذه المجموعة من الهضاب.

### هضبة كولومبيا البركانية

بلت نتائج الدراسات الجيولوجية على أن هذه الهضبة تشكلت بواسطة انبثاق اللافا والمصهورات البركانية خلال منحآت الشقوق والقوّهات المتعددة. وقد كانت حركة حدوث الثورات البركانية أشد قوة خلال الزمن الجيولوجي الثالث و-ركبت هضبة كولومبيا البركانية من عطاءات شبه طباقية من اللافا أقدمها تلك التي تقع أسفل هذه التكوينات وأحدثها عمراً أعلاها، وينراوح سمكها جميعاً من ٢ إلى ٤ قدم ويريد سمك القطع اللافي الواحد عن ٢ قدم وقد عمل نهر سنيك Snake على تكوين حوائق أخدودية بهري عميقة في العطاءات اللافية بحيث أصبحت بعض أجزاء من وادي أكبر عمقاً من أخدود كلورادو ففي بعض أجزاء على طول أخدود وادي سنيك قطع النهر أخدوداً عميقاً يمتد لمسافة طولها نحو ٤٠ ميلاً ومتوسط عمقه نحو ٥٥٠٠ قدم تحت سطح الأرض وتتجمع كميات هائلة من اللافا حول الشقوق الكثيفة المتشابكة التي تقطع أرضية الوادي، وقد استطاع نهر سنيك في بعض الأجزاء الأخرى أن يشق خانقاً بلغ عمقه نحو ١٠٠٠ قدم في صخور الجرانيت التي تقع بدورها أسفل صخور البازلت. (شكل ١١٧) ومثل هذه الخنادق النهرية العميقة التي تشق الهضاب البازلتية تشاهد في المرتفعات الجبلية الجنوبية الغربية في أمريكا الجنوبية. (شكل ١٧٥ ب).

وتعد الهضاب اللافية فى حوض نهر سنك التى تشغل القسم الجنوبى من ولاية إيداهو مكملة لمنطق هضبة كولومبيا البركانية وذلك على الرغم من أن الأولى أقل وعورة وتضرساً من هضبة كولومبيا. كما أن الالفا البركانية الهلايوسينية والهلايوستوسينية التى تغطيها تعد أحدث عمراً من الالفا البركانية للميوسينية التى تتركب منها هضبة كولومبيا. ويشتد فوق سطح الهضبة الأخيرة بعض التلال الانفرادية المنعزلة وتعرف باسم Steptoes ، وقد جاءت هذه التسمية من التلال البركانية



شكل (١٧٥) - أ - الهضاب البركانية فى القسم الغربى من أمريكا الشمالية (لاحظ اتساع مساحة هضبة كولومبيا ) ب - الهضاب البركانية فى القسم الجنوبى الغربى من أمريكا الجنوبية.

المعروفة بهذا الاسم والتى تقع فى شمالى كولفاكس Colfax فى ولاية واشنطن . ويتميز سطح هذه الهضبة كذلك بشكله القبابى للموج ويعزى ذلك إلى انتشار بعض المخروطات البركانية الصغيرة الحجم من جهة وإلى أثر انبثاق الماجما والمقذوفات البركانية من الشقوق التى تظهر على السطح من جهة أخرى .

وقد ذكر الأستاذ ستيرن Stearns فى عام ١٩٣٦ بأنه لاحظ أكثر من ١٠٠٠ ينبوع بركانى على طول جوانب اخنود وادى سنك فى هضبة كولومبيا البركانية ، ويرجع مصدر مقنوفات هذه الينابيع إلى اللافا البازلتية المنصهرة الأتية والمتدفقة من أعماق بعيدة من سطح الأرض .

#### ب - الهضاب الصدعية Faulted Plateaux

تنشأ الهضاب الصدعية أساساً بفعل الصدوع ولا تؤثر الأخيرة فى تقسيم الطبقات الصخرية داخل الهضاب الصدعية ونحزحتها فقط ، بل تكوين جوانب الهضاب على طول الأسطح الكبرى للصدوع . وتختلف هضاب هذه المجموعة فيما بينها من حيث الحجم ، والأزمة الجيولوجية التى تكونت خلالها ، وخصائصها الجيومورفولوجية العامة . وتبعاً لاختلاف حجم الهضاب ونوع الصدوع التى تشكلها يمكن أن نميز ثلاث مجموعات رئيسية منها تتمثل فيما يلى :

##### ١- الهضاب الصدعية القارية الهائلة الحجم Faulted masses

وتشتمل هذه المجموعة على الهضاب القارية التى انفصل بعضها عن البعض الآخر خلال عصور جيولوجية ما ، ثم تزعزعت أجزاء هذه القارات وتباعدت عن بعضها البعض تدريجياً (راجع نظرية فجنر) . وتتميز معظم هذه الهضاب باتساع مساحتها من ناحية وهبوط أرضية الهضاب باتساع مساحتها من ناحية وهبوط أرضية البحار المجاورة لها من ناحية أخرى . ومن بين أشهر هضاب هذه المجموعة ، هضبة لورنشيا (الهضبة الكندية) ، وهضاب سيبريا وهضبة شرق البرازيل ، وهضاب جنوب شبه الجزيرة العربية ، وهضبة غرب استراليا . وتبعاً لنشأة هذه الهضاب أساساً من كتل قارية أركية قديمة جيولوجيا ، تعرضت لفعل عوامل التآكل المختلفة خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل ، ومن ثم تميزت باستواء سطحها العام وضعف درجة تضرسها ، وتغير مظهرها الجيومورفولوجى عما كانت عليه خلال بداية نشأتها .

## ٢ - الهضاب الصدعية المتوسطة الحجم: Massif

تتميز أجزاء هذه المجموعة من الهضاب خاصة خلال القسم الأول من بداية تطورها بعدم استقرارها جيولوجياً، فيتضح من نتائج الدراسات الجيولوجية بأن هذه المجموعة من الهضاب تعرضت لحركات تكتونية عنيفة وصاحبتها حركات صدعية شديدة كذلك أدت إلى تقسيم طبقاتها وزحزحتها رأسياً وأفقياً، ثم تعرضت معظم أجزاء هذه الهضاب الصدعية بظواهر جيومورفولوجية متباينة، كما تأثر بعض أجزائها كذلك بطغيان البحر المجاور خلال عصور جيولوجية مختلفة، وسرعان ما انحصر البحر عنها ثانية خلال عصور جيولوجية لاحقة تبعاً لتعرضها من جديد لحركات رفع تكتونية تدريجية مصاحبة بحركات صدعية. ومن ثم يتميز التاريخ الجيولوجي هذه المجموعة من الهضاب بالتعدد أكثر منه بالبساطة. ومن بين أشهر أمثلة هذه المجموعة من الهضاب نذكر منها هضبة المزيثا الأسبانية بالقسم الأوسط من شبه جزيرة أيبيريا، والمرتفعات الوسطى وهضاب بريتانى فى فرنسا، وهضبة بيدمونت فى القسم الشرقى من أمريكا الشمالية وبعض الهضاب الوسطى فى أوروبا.

## ٣ - الهضاب الصدعية المرفوعة أو الضهور الصدعية: Horsts

تتكون هذه المجموعة الأخيرة من الهضاب تبعاً لتعرضها لصنوع مركبة متشابهة الاتجاه ومتجاورة لبعضها البعض بحيث تؤدي إلى رفع بعض أجزاء من الكتل الصخرية ورميها إلى أعلى وظهورها على شكل هضاب صدعية أعلى منسوباً عما يجاورها من أراضي وتعرف باسم الضهور الصدعية Horsts. فى حين تنخفض الكتل الصخرية التى رُميت إلى أسفل وتظهر على شكل أخواض صدعية منخفضة المنسوب تعرف باسم الأخوار الصدعية Grabens. وتبعاً لرمي أجزاء الكتل الصخرية إلى أعلى وإلى أسفل بفعل هذه الصنوع، يطلق عليها بعض الجيولوجيين اسم الكتل الأخنودية أو الكتل المرفوعة الصدعية Rift Blocks or Uplifted Bloks.

ومن بين أحسن أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التي تنحصر بين أجزاء الأخدود الأثريقي في شرق إفريقيا وكذلك هضاب حوض نهر الأردن وخاصة هضبة فلسطين على الجانب الغربي لأخدود البحر الميت وهضبة الأردن على الجانب الشرقي منه. كما تتمثل هذه المجموعة من الهضاب كذلك في معظم هضاب وادي ديث Death Valley وفي هضاب القسم الأوسط من ولاية تكساس في أمريكا الشمالية، وهضاب غور اليرين المسمى في أوروبا وهضبة الفوج Vosges إلى الغرب من غور اليرين المسمى ، وهضبة شوارزفيلد Schwarzwald ( الغابة السوداء ) ، إلى الشرق منه.

هذا وتجدر الإشارة إلى أنه ليس من الصواب تفسير اختلاف المظهر الجيومورفولوجي العام وتنوعه لمعظم مجموعات الهضاب الصدمية المختلفة إلى أثر فعل الصنوع وحده بل قد تتشكل أجزاء هذه الهضاب بفعل القوى الداخلية الأخرى ( الزلازل والبراكين ) وبموامل التعرية الخارجية خلال العصور الجيولوجية المختلفة. وعلى سبيل المثال يلاحظ بأن كلا من هضاب جنوب إفريقيا وهضاب شرق البرازيل والهضبة اللورنشية كانت أصلاً من كتل قارية قديمة، ثم تكسرت أجزائها وانفصلت وتزحزحت عن بعضها البعض، ومن ثم تكونت هضاب قارية صدمية هائلة المساحة. ولكن خلال فترات التاريخ الجيولوجي الطويل تعرضت أجزاء هذه الهضاب لفعلي عوامل التعرية المختلفة التي عملت على تسوية أسطحها ومظهرها الجيومورفولوجي العام من ناحية ، كما تعرضت بعض أجزائها كذلك لفعلي الزلازل والبراكين، ومن ثم ظهرت فيها ظواهر تضاريسية لم تكن تتمثل بها من قبل. هذا إلى جانب تشكيل أجزاء واسعة منها بالسهول التحتائية القديمة والحديثة جيولوجياً، ومن ثم يمكن القول (إذا لم نضع في الاعتبار العوامل الأساسية التي أدت إلى نشوء الهضاب المختلفة) بأن معظم مجموعات الهضاب فوق سطح الأرض تنتمي إلى مجموعة الهضاب المركبة النشأة.



## الفصل الثانى عشر السهول

**تعريف السهل:** يطلق تعبير « سهول Plains » على تلك الاراضى المستوية السطح، القليلة التضرس ، الضعيفة الانحدار، بغض النظر عن عوامل التعرية المختلفة التى ساهمت فى تكوينها ونشأتها، وأوضح بعض الجيومورفولوجيين (اشتلهر Strahler ولوبيك Lobeck وفيتمان Fenne-man) بأن السهول تتكون عادة فوق الاراضى التى تتألف من صخور طباقية افقية الميل Horizontal or flat-lying Strata ولكن لا يتلفق هذا التعريف مع السهول التحاتية البحرية أو النهرية التى تتكون فوق صخور مائلة أو أخرى ملتوية أو متثنية على الرغم من ظهور سطح الأرض على شكل سهل مستوى السطح، ضعيف الانحدار، قليل التضرس . أما الأستاذ جيمس P.E.James 1935 فقد أوضح بأن المنسوب العام لمجموعات السهول نادراً ما يزيد عن ٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر . ولكن أكدت الدراسات الحديثة كذلك بأن هناك سهولاً تحاتية جبلية تتمثل فوق أعالي الجبال على مناسيب تتراوح من ١٠٠٠ إلى ١٢,٠٠٠ قدم ومع ذلك تدخل تحت نطاق مجموعة السهول تبعاً لضعف انحدارها واستواء أسطحها . ومن ثم رجح الأستاذ فان ريدر J.E. Riper بأنه يمكن تصنيف السهول إلى ثلاث مجموعات رئيسية هى :

أ - **السهول الساحلية:** Coastal plains وتتمثل بجوار خط الساحل والمناطق القريبة منه، ولا يزيد منسوبها غالباً عن ٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر.

ب - **السهول الفيضية النهرية:** Alluvial Plains وتتمثل بأراضى الأودية النهرية وفوق قاعها وتتألف رواسبها من الحبيبات الصخرية التى حملها النهر وروافده من مناطق المتابع العليا ونقلها إلى المناطق الوسطى والدنيا من حوض النهر. ويختلف منسوب السهول الفيضية النهرية من موقع إلى آخر على طول أرضية الوادى النهرى. وعلى سبيل المثال قد يبلغ منسوب

هذه السهول في أرضية الوادي النهري بالقرب من منطقة إعالى النهر نحو ٩٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر، في حين لا يزيد منسوبها بأرضية الوادي في الجزء الأدنى منه عن ١٠٠ قدم فقط فوق منسوب سطح البحر .  
جـ السهول التكتونية الجبلية : Upland Peneplains تتكون هذه السهول بفعل عوامل تعرية مختلفة وتتمثل بقاياها فوق إعالى الجبال ومناطق ما بين الأودية النهرية وخطوط تقسيم المياه بين الأودية النهرية المختلفة. ومن ثم يختلف منسوب كل من مجموعاتها من موقع إلى آخر. وعندما يزيد منسوبها عن ٧٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالي، يتدر أن يتمثل فوقها رواسب صخرية مختلفة قد تدل على كيفية نشأتها، وعوامل التعرية التي ساهمت في تكوينها، والأزمة الجيولوجية التي تكونت خلالها.

وعلى الرغم من تنوع مجموعات هذه السهول واختلاف ظروف نشأتها إلا أن أهم الخصائص المشتركة بين هذه المجموعات السهلية هو امتدادها الكبير، واستواء سطحها وقلة تخرسه، ولا يزيد متوسط درجة الانحدار العام لسطحها عن خمس درجات . وعلى أساس تنوع نشأة السهول ميز الباحث (١) بين مجموعتين رئيسيتين هما:

#### ١- السهول الصخرية : Structural plains

وتتكون مثل هذه السهول في التكوينات الصخرية غير المتجانسة والتي تتألف من صخور صلبة وأخرى لينة ومتراكبة فوق بعضها البعض، ومن ثم تنحت عوامل التعرية الصخور اللينة بشدة وفي وقت قصير، في حين تقاوم الصخور الصلبة فعل هذه العوامل . وعلى ذلك يبدو سطحها

---

(١) حسن إبراهيم ١١ أصول الجيومورفولوجيا ٤ - دار المعارف - الإسكندرية - ١٩٦٦ والطبعة الحادية عشرة - الإسكندرية ( ١٩٩٥ )

(b) Abou el-Enin, H.S. , "Some aspects the drainage evolution" North, Univ., Geographical, Journal No.4 (1964), 45-54.

(b) Abou el-Enin, H.S. , "The geomorphology of the Mass Valley", M.A., Thesis, Univ . Sheffield, (1962).

على شكل سهول أو مدرجات مخرية يتأثر امتدادها وشكلها العام وفقاً للتوزيع الجغرافي للطبقات الصخرية المختلفة فوق سطح الأرض، ومدى صلابة هذه الطبقات وتنوع بنيتها الجيولوجية.

## ٢. السهول التحاتية: Erosional plains

وتتكون هذه السهول فوق صخور مختلفة الصلابة والتركيب، ولا تتأثر أبعادها تبعاً لمدى تنوع التكوين الصخري ونظام بنية الطبقات بل تبدو على شكل مناطق واسعة الامتداد ضعيفة الانحدار بغض النظر عن تنوع الصخور أسفل منها واختلاف نظام بنيتها الجيولوجية وتتشكل السهول التحاتية بخصائص جيومورفولوجية متنوعة تبعاً للعوامل المختلفة التي ساهمت في نشأتها (التعرية النهرية والتعرية البحرية والتعرية الجليدية ...) والدورة أو الدورات التي مرت بها

ومن المعروف أن مجموعات السهول التحاتية تتكون في نهاية الدورة التحاتية أو بمعنى آخر عندما يمر للجري النهرى من مرحلة الطفولة إلى مرحلة الشباب ثم إلى مرحلة النضج وفى نهاية المرحلة يسهل امتداد الأراضي السهلية التحاتية التي سرعان ما تتعرض للصح و التقسيم بفعل عوامل التعرية المختلفة

ولو كان سطح الأرض خلال عمره الجيولوجى الطويل (حوالي ٦٠٠ مليون سنة فيما قبل الكمبرى إلى العصر الحديث) ، لم يتأثر بأي تغيرات تكتونية ، لأصبح سهلاً مستوياً تماماً ، ولا يتمثل فوقه أى مناطق مرتفعة أو مخرسة إطلاقاً ، تبعاً لتكوين سهول تحاتية واسعة الامتداد بفعل عوامل التعرية . ولكن حيث أن أجزاء واسعة من هذا السطح تعرضت لفعل حركات تكتونية متعاقبة خلال عصور جيولوجية مختلفة لفعل حركات تكتونية متعاقبة خلال عصور جيولوجية مختلفة، فقد أدى ذلك بدوره إلى استمرار تجديد المظهر الجيومورفولوجى العام لأجزاء سطح الأرض، وقيام تجديد نشاط للجارى النهرية من فترة إلى أخرى . وعن ثم يمكن القول بأنه فى نفس الوقت الذى تتكون فيه سهول تحاتية

فى بعض أجزاء من سطح الأرض ، تعمق الأنهار مجاريها فى مناطق أخرى من سطح الأرض وتشقق الصخور بفعل عمليات النحت الرأسى المستمرة . وعلى ذلك يحسن الإشارة إلى بعض نماذج لمجموعات السهل التحتانية المختلفة فوق سطح الأرض ، والعوامل التى أدت إلى نشأتها، وخصائصها التضاريسية العامة.

### أولاً- السهول التى تتكون بفعل المياه الجارية

تعمزى نشأة معظم السهول التى تتمثل فوق سطح الأرض إلى فعل التعرية النهرية وقد أكدت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية بأن مثل هذه السهول تكونت فى بداية نشأتها ( مرحلة الطفولة Young Stage ) بواسطة مجارى مهيمة كانت تشقق السطح الأسمى لمنطقة ما Initial Surface وقد تشكل الاتجاه العام لهذه المجارى النهرية تبعاً لاتجاه الانحدار العام للسطح الأسمى ولكن فى مراحل متعاقبة من مراحل الشباب Youth Stage سرعان ما تبدأ الأنهار شق مجاريها لخلال مناطق الصعف الجيومورفولوجية ( الصخور اللينة و سطح الصدوع (الانكسارات) ومناطق مضرب الطبقات ) ولتكون لنفسها أودية مهيمة عميقة بفعل النحت الرأسى الشديد . وعلى ذلك يرداد تضررس المنطقة وتتقطع أسطحها بواسطة الأودية النهرية النشيطة التى تبدو قطعانها الجانبية على شكل حرف ( V ) . ( شكل ١٧٦ ) وفى مراحل متأخرة من مراحل التطور الجيومورفولوجى للمنطقة (مرحل النضج Mature Stage ) تتآكل الطبقات الصخرية العليا النينة بالمنطقة تبعاً لتوالى عمليات التعرية النهرية الرأسية والجانبية كما تتسع جوانب الأودية النهرية ويبدو سطح الأرض فى هذه المرحلة بسيط الانحدار قليل التضررس . ويطلق عليه اسم « السهل التحتانى النهرى Peneplain » ولا يرتبط الاتجاه العام للمجارى النهرية فى هذه المرحلة بالانحدار الأسمى للمنطقة (كما هو الحال بالنسبة للأنهار خلال مرحلة الطفولة) ، بل يتأثر اتجاهها تبعاً لخصائص التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات . وعلى ذلك يتميز التصريف النهرى وأنماطه المختلفة بأنه متوافق مع التركيب الصخرى الذى تشقه الأنهار وتجرى فوقه .

وعلى الرغم من أن السهول التحتانية النهرية تتكون في نهاية الدورة التحتانية للأودية النهرية ومجاريها إلا أن مجموعاتنا تختلف فيما بينها ليس فقط من حيث الأزمنة الجيولوجية التي تكونت خلالها بل كذلك من



شكل (١٧٦) مراحل تكوين السهول التحتانية النهرية:

أ- مرحلة الطفولة. ب- مرحلة الشباب. ج- مرحلة النضج.

حيث خصائصها الجيومورفولوجية العامة تبعاً للمواقع المحلية التي تكونت فيه. وعلى هذا الأساس يمكن أن نميز أنواع السهول الآتية:

### أ - السهول الفيضية : Flood Plains

تتكون السهول الفيضية فى أرضية الأودية النهرية وبجوار مجارى الأنهار وتتجمع رواسبها الصفائحية الشكل فوق بعضها البعض تبعاً لإرساب النهر بعض حملته من الرواسب على جانبيه خلال وقت الفيضان ، أو تركه لها وانحصار مياه النهر فى مجرى ضيق إبان وقت التحريق. ويمثل فوق السهول الفيضية ظاهرات تضاريسية مختلفة من أهمها البحيرات المنقطعة التى تعد بقايا هياكل المنخفضات النهرية القديمة ، والجسور الطبيعية Natural levees التى تتألف من المواد الطينية اللزجة والتى كثيراً ما تتكون بعد طرح النهر بعض من حملته وانحصاره فى مجرى الضيق خلال وقت التحريق.

وتختلف المقتات الصخرية التى تتركب منها السهول الفيضية من مكان إلى آخر على طول قاع الوادى النهري Valley Floor . فتتألف فى القسم الأعلى لحوض النهر من جلاميد صخرية كبيرة الحجم وأخرى غير متجانسة الشكل والتركيب ، وتتفتت تلك الرواسب من مسخور المنابع العليا لحوض النهر، فى حين تتركب المقتات الصخرية للسهول الفيضية فى القسم الأدنى من حوض النهر من حبيبات صخرية دقيقة الحجم واضحة الاستدارة، كما أنها غالباً ما تكون مصقولة الجوانب تماماً تبعاً لرحلتها الطويلة عبر المجرى النهري واستمرار احتكاكها بقاع النهر وتشكيلها بفعل المياه.

وحيث يتميز المجرى النهري المثالى فى حوضه الأعلى بشدة فعل النحت الرأسى وسرعة جريانه وشدة تياره ودرجة انحداره ، لذا يبدو السهل الفيضى بهذا القسم الأعلى من حوض النهر على شكل شريط ضيق لا يزيد عرضه عادة على بضعة أمتار فقط يتركز بجوار مجرى النهر نفسه. أما فى القسم الأدنى من حوض النهر حيث تضعف التعرية الرأسية ويظهر فعل التعرية الجانبية ويترشح مجرى النهر من جانب إلى آخر ، فتظهر السهول الفيضية هنا على شكل نطاق عريض نسبياً

(يتراوح اتساعه من بضع مئات من الأمتار إلى بضع مئات من الكيلومترات) وتتميز كذلك باستواء أسطحها وتغطيتها بفرشات إرسابية فيضية من الرواسب النقية الناعمة، والجسور الطبيعية.

ولما كان موقع السهول الفيضية يقتزن بمجرى النهر نفسه لذا تعد هذه السهول من أحدث الظواهر التضاريسية عمراً في حوض النهر ولكن في حالة إذا ما وصل النهر إلى مرحلة النضج ويصح في أن يكون سهولاً فيضية واسعة الامتداد، ثم تعرض بعد ذلك لفعل التعرية النهرية الرأسية ووجدت نشاطه وبقوة من جديد (تبعاً لحدوث حركات رفع تكتونية في حوض النهر، أو تغير مستوى سطح البحر) سرعان ما يعمق النهر السهول الفيضية وتظهر الأخيرة على جانبي المجرى النهرى المتعمق الجديد على شكل مدرجات نهرية River Terraces تعمل فوقها الرواسب النهرية الفيضية المختلفة. أما إذا جدد النهر نشاطه خلال مراحل جيولوجية متعاقبة مختلفة فتنظر بقايا السهول الفيضية على شكل بقايا لسهول تعاقبة قيمة Erosion Surface remnants ، تحتل بدورها أعالي جوانب النهر.

وحيث إن هذه السهول قديمة العمر الجيولوجي ، لذا فمن النادر أن تحتوى على رواسب فيضية تبعاً لتآكل الأخيرة وإزالتها بفعل عوامل التعرية المختلفة، وإن دل تعدد مجموعات السهول التعاقبة في حوض النهر على شيء ، فإنما يدل على أن هذا النهر تعرض لأكثر من دورة تعاقبية، ويكون لنفسه سهولاً فيضية متسعة، ثم سرعان ما جدد نشاطه من جديد تبعاً لتغيير مستوى القاعدة العام.

#### ب - السهول الدلتاوية Delta Plains or Deltas

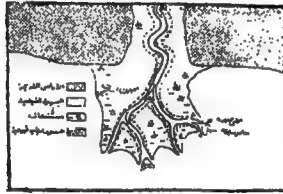
تتجه معظم مصبات أنهار العالم صوب البحار والمحيطات حيث تلقى حملاتها وما بها من رواسب، وتتجمع كذلك بعض هذه الرواسب في الجزء الأدنى من النهر خاصة عند فوهته وتتراكم بدورها فوق أرضية شاطئ البحر أو المحيط الخسل الذي يصب فيه النهر. فإذا كانت قوة

الأمواج وأثر فعل المد والجزر شديداً فقد ينجم عن هذه العوامل إنزالة الرواسب النهرية باستمرار ولا تمنح لها الفرصة لكي تتشكل أو تتراكم أمام فوهة النهر. وإذا تعرض الجزء الأدنى من النهر لعمليات الهبوط الأرضي Subsidence فمن الصعب أن تتجمع أو تتراكم الرواسب في هذه الحالة ، حيث إن معظمها سيكون عرضة لتأثير عمليات الهبوط ويغطي البحر على فوهة النهر والمناطق الساحلية المجاورة.

أما إذا كان فعل الأمواج وتأثير المد والجزر ضعيفاً والبحر ضحلاً كما هو الحال في البحيرات والهدامز المغلقة، مثل البحر الأبيض المتوسط والبحر الأسود ، وخليج المكسيك فيصبح في قدرة الرواسب النهرية أن تتجمع وتتراكم أمام فوهة النهر وعلى جانبيه الجزء الأدنى من الوادي النهري . وتؤدي عمليات تراكم الرواسب على شكل طبقات تغطي الأسطح القريبة من مصب النهر عاماً بعد عام قد تتكون سهول واسعة الامتداد، مستوية السطح وتظهر غالباً على شكل مروحي . ويطلق على هذه السهول الإرسابية عند فوهة النهر اسم الدلتا Delta . ويتبين من هذا العرض أن السهول الدلتاوية تتكون على حساب البحر الضحل المجاور وذلك بتراكم المغتات الصخرية الفيضية وإرسابها فوق أرضية هذا البحر الضحل مكونة طبقات متعاقبة قد ترتفع وتظهر فوق منسوب سطح البحر وبهذا تصبح جزءاً من الدلتا.

وعندما تزداد الرواسب النهرية في البحر الضحل الذي يصب فيه النهر ، وقد يكون من الصعب أحياناً أن يرسب النهر حمولته عن طريق مجراه فقط وتبعاً لارتفاع منسوب للمياه في الجزء الأدنى من النهر قد يعمل الأخير على حفر مجارى تتخذ شكل مخارج تساعد على قذف مياهه ، وما يحمله من رواسب إلى أجزاء أخرى أكبر عمقاً نسبياً في البحر المجاور. وعلى ذلك فيقطع أرض الدلتا العديد من المجارى يطلق عليها اسم المخارج النهرية Distributaries أو الفروع ويحدد جوانب هذه المخارج النهرية عادة الجسور الطبيعية الطويلة الشكل الممتدة فوق أرضية السهل الفيضي وقد يتفرع المخرج النهري إلى عدة فروع مختلفة إذا ما تعرض

مجراه لبعض الجزر أو عقبات من الصعب اجتيازها (شكل ١٧٧).  
ومن أجمل أمثلة هذه المخارج تلك التي تتمثل في دلتا نهر المسيسيبي  
بأمريكا الشمالية.



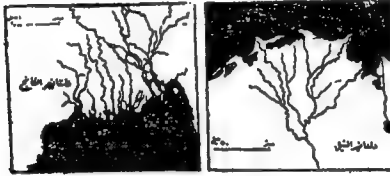
شكل (١٧٧) مورفولوجية المناطق الدلتاوية - لاحظ توزيع الجسور الطينية  
الطينية على جانبي المخارج النهرية وانتشار الرواسب الغيضية.

ويمكن دراسة تركيب الطبقات الرسابية المختلفة للدلتا عندما  
ينخفض مستوى سطح البحر أو البحيرة التي يصب فيها النهر وتظهر  
هذه الطبقات واضحة على سطح الأرض. وتبعاً لاختلاف المظهر  
الجيومورفولوجي للدلتاوات وتنوع أشكالها يمكن تقسيمها إلى  
مجموعتين كبيرتين هما:

#### أ - الدلتاوات المروحية المثثة :

تتخذ معظم دلتاوات أنهار العالم الشكل المثثي، بحيث تمثل قاعدة  
المثلث ساحل البحر أو البحيرة التي تصب فيها المجارى الدلتا للنهر. بينما  
يمثل رأس المثلث منطقة تفرغ هذه للمجارى النهرية من المجرى الرئيسي،

وقد تزداد المخارج النهرية للكتونة فوق الدلتا بحيث تبدو الأخيرة على شكل يشبه المروحة. ومن بين أمثلة هذه الدلتاوات ، دلتا النيل التي اتخذت اسمها تبعاً لظهورها على شكل مثلث يشبه حرف «د» في اللغة اليونانية  $\Delta$  وقد اتخذت قاعدة المثلث أو بمعنى آخر الشريط الساحلي لدلتا النيل شكل القوس المنحني وذلك يعزى إلى تآكل جوانب قاعدة الدلتا بفعل الأمواج من جهة بالإضافة إلى تأثير الحواجز الرملية والبحيرات الساحلية وخصائص عمليات إرساب فيضانات النيل (قبل بناء السد العالي) من جهة أخرى. (شكل ١٧٨).



شكل (١٧٨) الشكل العام لدلتا النيل، ودلتا الكانج.

وحيث إن مجرى نهر النيل يشق طريقاً طويلاً خالياً من الروافد التي تغذيه ويقطع أراضي صحراوية جافة واسعة الامتداد فإنه عند وصوله إلى قمة أو رأس الدلتا يلقي معظم ما به من رواسب وبذا تصبح درجة امتداد أو تقدم الدلتا في البحر ضئيلة جداً بالنسبة لتقدم بعض دلتاوات الأنهار الأخرى . فتمتد مثلاً دلتا نهر البو Po في السهل الإيطالي الشمالي امتداداً سريعاً في بحر الأدرياتيك ونجم عن ذلك أن بعدت مدينة أدريا Adria بنحو ١٤ ميلاً عن خط الساحل . ولما كانت هذه المدينة ميناء بحرياً هاماً منذ نحو ١٨٠٠ سنة مضت ، فقد قدر الباحثون أن دلتا البو تتقدم في البحر بمعدل ٤٠ قدماً في السنة وتكررت نفس العملية بالنسبة لمدينة أوستيا Ostia على نهر التيبر Tiber (ميناء روما القديم) التي أصبحت

على بعد أربعة أميال من الساحل الحالي.

كما تختلف الدلتاوات فيما بينها من حيث الحجم تبعاً لكمية الرواسب التي يلقيها النهر عند فوهته. فيزيد متوسط اتساع دلتا أنهار كل من النيل والفلوجا والكانج والميسيسيبي عن ١٠٠ ميل ، أما دلتا هوانج هو في الصين فيزيد اتساعها عن ٣٥٠ ميل، وتتألف دلتا الكانج من دلتا يشقها عشرات من المخارج النهرية التي تساعد على إزفاء حمولة النهر في خليج بنغال ، وتتركب من طبقات غرينية كبيرة السمك ( أنظر شكل ١٧٨ ).

#### ب - الدلتاوات الأصعبية:

قد تنقسم بعض الدلتاوات بواسطة مخارج نهريّة عميقة نسبياً يطلق عليها اسم المعابر « Passes » وتتخذ هذه المعابر النهرية شكل أصابع اليد أو قدم الطائر ويخصص بين أصابعها (مخارجها ) أشربة سهلية ضيقة مركبة من مواد صلبة ناعمة شديدة التماسك .

ومن أجمل هذه المجموعة ، هي دلتا نهر الميسيسيبي التي تتكون من عديد من المخارج العميقة التي تمتد في البحر على شكل قدم الطائر Bird's Foot. وتحمل المجاري النهرية للميسيسيبي في الجزء الأدنى كميات كبيرة من الرواسب الدقيقة الحجم ساعدت على تكوين جسور نهريّة غير مسامية تفصل بين جوانب المخارج النهرية العميقة. وقدّر الباحثون أن متوسط تقدم مخارج الميسيسيبي في خليج المكسيك يبلغ نحو ٢٤٠ قدماً في السنة.

وقد دلت نتائج الدراسات التي أجريت في دلتا الميسيسيبي على أنها تتعرض لعمليات الهبوط الأرضي التدريجي البسيط. وقد تبين كذلك أن الفعل الناتج عن الإرساب النهري عمل على تعويض التأثير الناتج عن فعل الهبوط حيث يقوم كل منهما بدوره في نفس الوقت . ومن أمثلة الدلتاوات الكبرى التي تتعرض لحركات الهبوط الأرضي التدريجي كذلك دلتاوات النيل ، والكانج وبرهما بترا وإيراوادي. هذا ويسهل تكوين الدلتاوات ويزداد تقدمها بسرعة إذا تكونت في بحار مغلقة تتميز بضعف قوة

التيارات والأمواج وتأثير المد والجزر ، وكذلك إذا كانت الأنهار تصب في بحيرات ضحلة ، وحسبما إذا كان مياها أكثر ملوحة من مياه الأنهار التي تصب فيها . ومن بين أمثلة ذلك دلتا نهر تيرك Terek التي تتقدم بمعدل ١٠٠٠ قدم سنوياً في بحر قزوين .

وقد تكون المجارى النهرية وخاصة شبه الجافة منها ظاهرة أخرى تشبه الدلتاوات يطلق عليها تعبیر الماروح الفيضية Alluvial Fans . وكمثل الدلتاوات تتكون الماروح الفيضية تبعاً لإرساب الأنهار حملتها من الرواسب المختلفة . ولكن يلاحظ في هذه الحالة أن الرواسب النهرية تتجمع وترسب فجائياً نتيجة لاختلاف انحدار المجرى النهرى وسرعة جريانه حيث ينساب المجرى المائي شبه الجاف في هذه الحالة من أعالي الحافات الصخرية التي يشقها وتتجمع رواسبه الفيضية تحت اقدام هذه الحافات . ومن ثم تتركز مجموعات الماروح الفيضية في مناطق التقاء المجارى النهرية المنحدرة في المناطق الجبلية بتلك التي تنحدر فوق السهول الضعيفة الانحدار . وعلى ذلك تتراكم رواسب الأنهار الجبلية فجأة وتبدو على شكل اكوام مروحية فيضية هائلة الحجم . وتتلف مواد هذه الماروح الفيضية من مفتتات صخرية خشنة ويكثر فيها الحمى والحصباء غير المتجانس الشكل أو الحجم (١)

وتعد دراسة السهول التحتاتية النهرية من بين أهم موضوعات الدراسات الجيومورفولوجية الدافيزية ذلك لأنها تفسر تطور حياة النهر ومدى تأثيره بتذبذب مستوى سطح البحر المجاور . على ذلك يهتم الباحثون بتصنيف مجموعات السهول التحتاتية في حوض النهر الواحد وتمييز كل مجموعة على حدة ، وتحديد أشكالها الجيومورفولوجية العامة وذلك لمعرفة الزمن الجيولوجى التي تكونت فيه كل مجموعة من السهول التحتاتية النهرية المختلفة.

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

١- حسن أبو العينين : « أصول الجيومورفولوجيا » - الإسكندرية - الطبعة الحادية عشرة -

الإسكندرية ( ١٩٩٥ )

٢- حسن أبو العينين : « مروحة وادي بيج - شرق رأس الخيمة دراسة جيومورفولوجية » الجمعية

الجغرافية الكويتية ( ١٩٩٥ ) .

ويلاحظ أن أهم ما يربط بين بقايا السهل التحاتى الواحد ، والذي يجعل الباحث أن يجمع تلك البقايا السهلية ويرمز إليه كسهل تحاتى واحد قديم ما يلى:

(أ) وقوع بقايا السهل بين مناسيب محددة فمثلاً قد تقع أقل هذه البقايا ارتفاعاً على منسوب ٢٥٠ قدماً بينما يقع أعلى هذه البقايا على منسوب ٤٢٠ قدماً فوق مستوى سطح البحر، وبالتالي تعتبر هذه البقايا السهلية فيما بين هذين المنسوبين تابعة لسهل تحاتى واحد يتراوح منسوبه فيما بين ٣٥٠ إلى ٤٢٠ قدماً فوق مستوى سطح البحر.

(ب) تشابه المظهر الجيومورفولوجى للبقايا السهلية التى تتبع مرحلة تحاتية معينة حيث أنها تكونت فى زمن واحد معين وتشكلت بنفس العوامل المختلفة وتطورت تحت ظروف متشابهة.

(ج) إذا تميزت البقايا السهلية التابعة لمرحلة تحاتية معينة باحتوائها على بعض الرواسب، فتبدو الأخيرة متشابهة من حيث أشكالها وتركيبها فوق كل هذه البقايا المختلفة بحوض النهر.

وتتلخص أهم الخصائص التى تميز السهول التحاتية النهرية عن غيرها من السهول الأخرى فى النقاط الآتية:

١ - لا تتأثر أشكال السهول التحاتية النهرية أو امتدادها بالتركيب الصخرى الذى تنشأ فوقه كما هو الحال مثلاً بالنسبة للمدرجات الصخرية بل تتكون بقايا السهل التحاتى النهرى فوق أنواع مختلفة من الصخور وتتشط أسطحها جميعاً لتظهر على شكل سهل مستوى السطح مركب من صفور جيولوجية متباينة.

٢- على الرغم من الاختلاف البسيط فى منسوب بقايا السهول التحاتية المختلفة التى تنتمى إلى مرحلة واحدة بالنسبة لسطح البحر، إلا أنها تتفق جميعاً من حيث مظهرها الجيومورفولوجى العام (درجة الانحدار والشكل العام والظواهر الجيومورفولوجية الثانوية التى تنشأ

فوقها الرواسب النهرية التي قد تميزها ).

٣ - تتشكل سفوح انحدارات السهول التحتانية النهرية الحديثة العمر بتغطيتها بفريشات من الرواسب النهرية التي قد تساعد على معرفة الزمن الذي نشأت فيه السهول . ولكن من النادر ملاحظة مثل هذه الرواسب فوق انحدارات سطح السهول التحتانية النهرية القديمة العمر ( أقدم من الهلايوستوسين ) اللهم إلا بعض الرواسب المفتتة أو الملتحلة بواسطة فعل التجوية Deeply Weathered Waste والتي تشغل أجزاء العليا من الطبقات الصخرية.

٤ - أهم ما يميز بقايا السهل التحتاني النهرى كذلك هو التصريف النهرى وأشكاله ففى بداية الدورة التحتانية تكوين الأنهار الرئيسية التي تمتد مع اتجاه ميل الطبقات Consequent Streams ، ولكنها سرعان ما تتغير وتتشكل فى نهاية الدورة التحتانية لتحل مكانها أنهار أخرى تشق مناطق الضعف الجيولوجى أو تمتد على طول مضرب الطبقات. وعندما يتشكل التصريف النهرى بهذا النمط، وغالباً ما يحدث ذلك فى نهاية الدورة التحتانية النهرية Late Stage of Peneplanation ويطلق على التصريف النهرى فى هذه الحالة بأنه عمل مظهره بالنسبة للتركيب الصخرى فى المنطقة Adapted or Adjusted-to Structure وتعتبر هذه الخاصية أهم ما يميز السهول التحتانية النهرية خاصة إذا لم تتشكل هذه السهول الأخيرة بالرواسب (١).

ثانياً - السهول التى تتكون بفعل البحر

ترجع نشأة السهول التحتانية البحرية Plains of Marine Denudation إلى أثر فعل كل من الأمواج والمد والجزر ، وعمليات تذبذب مستوى سطح البحر خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، فى تشكيل صخور اليابس المتاخمة لسطح البحر. وقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية على أنه قد ينجم عن فعل هذه العوامل السابقة فى الأرضى المجاورة لخط الساحل خلال مدة طويلة من الزمن ، أو تبعاً لتراجع البحر عن الأرض المجاورة له تكوين سهول واسعة الامتداد ، وضعيفة التضرس ، وتغطي أحياناً ببعض

الرواسب والكائنات البحرية المختلفة، وتنحصر أبعادها فيما بين الجروف البحرية (الحواف الصخرية العالية التي تمثل شاطئ البحر القديم قبل انخفاض منسوبه) وخط الساحل . وقد اعتقد بعض الجيولوجيين في بريطانيا خلال القرن التاسع عشر بأن معظم السهول التحتائية في الجزر البريطانية عبارة عن سهول تحتائية بحرية كونها البحر القديم إبان عمليات تراجعه المتعاقبة عن اليابس خلال فترات مختلفة من العصور الجيولوجية.

وقد أوضح الباحثون بأن عملية تكوين السهول التحتائية البحرية تظهر بوضوح على طول السواحل البحرية التي تتراجع عندها الجروف البحرية (التي تمتد بجوارها وتتألف من صخور لينة) بسرعة شديدة وإذا كانت هذه الأرض صلبة أو السهول البحرية Marine platforms حديثة العمر الجيولوجي ومحدودة الامتداد، فقد تتغطى بمياه البحر خلال فترات حدوث المد العالي، في حين تظهر ثابته فوق السطح عندما يتراجع مياه البحر خلال حدوث الجزر . وتساهم الأمواج العاليه المتكسرة الشديدة الاندفاع في تشكيل السهول البحرية التي تمتد تحت أقدام الجروف (liffs) . وذلك بفعل اصطدام الحبيبات الرملية والرواسب المختلفة التي تعملها الأمواج القادمة وتلك المرتجعة واحتكاكها بصخور السهول والجروف البحرية . وحين تتعرض الأجزاء الدنيا من السهل البحري لفعل الأمواج بصورة أشد منه في الأجزاء العليا (التي تقع تحت أقدام الجروف البحرية مباشرة) لذا يظهر أثر فعل تعرية الأمواج في تلك الأجزاء الدنيا من السهل البحري قبل ظهورها في الأجزاء العليا منه . وعلى ذلك ينحدر سطح السهل البحري انحداراً تدريجياً بسيطاً من أقدام الجروف البحرية إلى البحر المجاور.

ويزداد تراجع الجروف البحرية إذا كانت تتألف الأخيرة من صخور لينة ضعيفة التماسك وإن فعل الأمواج كان شديداً ، وعند ظهور أثر فعل التعرية الهوائية والتجوية الكيميائية في تحت الجروف البحرية، في حين تقل سرعة التراجع الخلفي للجروف البحرية إذا كانت الأخيرة تتألف من صخور صلبة شديدة التماسك، ولم تتأثر كثيراً بالاشقوق والفوالق

والصندوق غير أنه بمرور الزمن لابد وأن تتراجع الجروف البحرية، ولو بصورة مختلفة ودرجات متفاوتة، وينجم عن ذلك اتساع أبعاد السهول التحاتية البحرية بصورة تدريجية على حساب التراجع الخلفي للجروف البحرية من ناحية وانخفاض مستوى سطح البحر من ناحية أخرى. وعندما تصبح السهول البحرية قديمة العمر الجيولوجي، تبعد مياه البحر عنها، ويصبح منسوبها أعلى من مياه البحر بصورة واضحة، وعلى ذلك قد لا تصل مياه البحر إلى أطراف السهول الواقعة تحت لغط الجروف البحرية، كما لا تتشكل الأخيرة بفعل مياه البحر، بل تتعرض أساساً لفعل عوامل التعرية الهوائية المختلفة

وعلى الرغم من مشاهدة السهول التحاتية لبحرية مجاورة لخط الساحل، إلا أنه من الصعب تمييز مجموعات السهول البحرية القديمة فوق مناطق سطح الأرض التي انحصر البحر القديم عنها ثم تشكلت من جديد بفعل التعرية الهوائية

ولقد رجح الأستاذ ولهم موريس نايفير بأنه من النادر أن يعثر الباحث على أدلة تثبت نشأة السهول التحاتية البحرية بصورة يقينية ذلك لأن معظم الرواسب البحرية السطحية تتلاشى وتتآكل تدريجياً بفعل عوامل التعرية خاصة إذا كانت هذه السهول البحرية قديمة العمر الجيولوجي ولكن قد تبقى بعض هذه الرواسب فوق أجزاء من السهل التحاتى البحرى الحديث النشأة. ولقد رجح الأستاذ « سبارك » Sparks. B W (١) أن بعض هذه الرواسب البحرية فوق السهل التحاتى البحرى قد تتشكل بفعل التعرية الهوائية Subaenal denudation وينجم عن ذلك اختلاط كل من الرواسب البحرية بالرواسب القارية، ويصعب تمييز كل منها على حدة. وقد أطلق سبارك على مثل هذه السهول تعبير Marine trimmed plains لكى يرمز إلى تلك السهول البحرية النشأة والتي عدل في مظهرها الثانوى عوامل التعرية الهوائية الأخرى وذلك بدلاً من تعبير السهول البحرية Marine plains

(1) Sparks, B.W., "Geomorphology", (1960), 334-362.

وقد أكد الأستاذ هنري بوليج H. Baulig في عام ١٩٥٢، أن معظم سطوح بقايا السهول التحاتية البحرية تغطيها رواسب من الحصى والكونجلومرات Conglomerate دلالة على شدة تحت أمواج البحر القديم في الصفحور، والتي تتلفت لتكوين الفرشات الإرسابية التي تغطي هذه السهول . وتتخلص أهم الخصائص الجيومورفولوجية التي تميز السهول التحاتية البحرية من غيرها من أنواع السهول التحاتية الأخرى ما يأتي :

أ- حداثتها على شكل مصاطب سلمية Staircases of Terraces تمتد موازية لخط الساحل المجاور.

ب - زيادة استواء أسطحها وتشابه مناسيب أجزائها المختلفة هذا بالإضافة إلى ضعف تفرسها Very faint relief بدرجة واضحة إذا ما قورنت بأي نوع آخر من السهول التحاتية.

جـ - تتميز الحافات الصخرية التي تشكل كل من مقدمة السهل التحاتي البحري ومؤخرته والتي تفصل مجموعة ما من بقايا هذا السهل عن مجموعة أخرى بأنها حافات صخرية حائطية شديدة الانحدار Wall like cliff هذا بخلاف الحافات الصخرية التي تصاحب تكوين السهول التحاتية النهرية التي تتميز عادة بظواهر جيومورفولوجية ثانوية متعددة.

د - ولكن أهم ما يميز السهول التحاتية البحرية كذلك، العلاقة بين التصريف النهرى وأشكاله فوق هذه السهول ونظام التركيب الصخري الذي تتكون فوقه. فإذا غطيت بقايا السهل التحاتي البحري بفرشات سميكة من الرواسب البحرية بالتالية تتكون المجاري النهرية في بداية نشأتها فوق هذه الرواسب وتشق لنفسها مجارى نهرية يتوقف امتدادها أساساً تبعاً لاختلاف انحدار سطح الرواسب، وفي مرحلة متعاقبة سرعان ما تتآكل الرواسب البحرية في نفس الوقت التي تطبع فيه الأنهار مجاريها فوق الصفحور السفلية بنفس الشكل الذي تكونت به أصلاً فوق الرواسب

البحرية العليا. ولذا يطلق الباحثون على مثل هذا التصريف النهري تعبير التصريف النهري المنطبع Superimposed Drainage.

وتنتشر السهول البحرية الحديثة العمري جوار معظم السواحل الحالية لقارات العالم، ومن بين أجمل أمثلتها السهول البحرية الحديثة النشأة على طول الساحل اللبناني والتي تمتد في اتجاه شمالي شرقي، جنوبي غربي فيما بين بلدة العريضة عند مصب النهر الكبير شمالاً، وجنوب رأس الناقورة بجوار الحدود اللبنانية - الفلسطينية جنوباً، وذلك لمسافة يبلغ طولها ٢٢٥ كيلو متراً. ويزيد طول السواحل اللبنانية عن هذا الامتداد تبعا لكثرة الخلجان والرووس البحرية التي تتمثل بها ويختلف اتساع السهل الساحل اللبناني من موقع إلى آخر تبعا لما يلي:

أ - مدى قرب الجروف البحرية أو بعدها عن خط الساحل.

ب - درجة التقطع النهري . وتكوين السهول الساحلية الفيضية بفعل المجاري النهرية الكبرى ، كما هو الحال في منطقة الأحواض الدنيا لجاري أنهار النهر الكبير، وبيروت، والزهراني، والليطاني، حيث تمتزج السهول الفيضية النهرية بتلك البحرية.

ج - التطور الجيومورفولوجي لعمليات تراجع البحر عن الأرض المجاورة خلال عصر البلايوسين.

ولا تبدو السهول الساحلية اللبنانية على شكل أراضي مستوية السطح تماما، بل يختلف منسوبها وانحدارها من مكان إلى آخر، كما تتشكل أركانها بظواهر تضاريسية متنوعة من أهمها، المدرجات البحرية البلايوسينسية، والكثبان الرملية القديمة العمر وتلك الحديثة التكوين، والتلال الجبلية المنخفضة التي قاومت فعل عوامل التعرية الهوائية والبحرية، هذا إلى جانب انتشار الفرشات الإرسابية والتي تتألف غالبا من الرمال والحصى والحصباء ورواسب المجمعات وقد قام الأستاذ ديبترتيه

في عام ١٩٤٠<sup>(١)</sup> بدراسة السهول التحتية البحرية التي تتمثل على

(1) Dubertret, L., "Manuel de géographie de la Syrie et du Proch Orient" Beyrouth, ( 1940 ) 45 . t

طول الساحل اللبناني، ومن دراسته لتنوع مناسيب مجموعات هذه السهول وخصائص الرواسب التي تتمثل فوقها ميز ديهرتيه ثمانية سهول تحاتية بحرية، جمعها في ثلاث فترات تحاتية بحرية كبرى تتبع مراحل تكوين المدرجات البحرية التحاتية الفلندرية، والتيرانية، والصقلية التي تتمثل بوضوح في أجزاء واسعة من السهول الساحلية لحوض البحر الأبيض المتوسط، وتلخص نتائج دراسات ديهرتيه لمجموعات السهول التحاتية البحرية على طول الساحل اللبناني واختلاف مناسيبها، والفترات التاريخية التابعة لنشأتها وطبيعة المناخ القديم الذي كان سائداً إبان تكوين كل منها في الجدول التالي:

ارتفاع السهول البحرية القديمة في لبنان (متر) فوق سطح البحر المتوسط (الحالي)	مجموعات السهول البحرية في حوض البحر المتوسط	تاريخ السهول البحرية اللبنانية	الظروف المناخية
ارتفاع من متر واحد من ٣ - ٤ متر	المدرج الفلندري	الفترة التاريخية الحديثة نهاية العصر الحجري الحديث	المناخ الحالي أشبه بالمناخ الحالي إلا أن المناخ كان أكثر رطوبة
مدرج ٦ متر	المدرج التيراني	} للمستيري اللافلوازي نهاية الفترة الأشولية	} أكثر دفئاً وحرارة من المناخ الحالي - ترسيب التربة الحمراء في الفترة اللافلوازية -
مدرج ١٠ متر			
مدرج ٣٥ متر - مدرج ٤٥			
مدرج ٦٠ متر	المدرج الصقلي	الفترة التأسيسية - فترة تكوين رواسب	مناخ دافئ يتبع مرحلة ديس قديم غير الجليدية في أوروبا أكثر رطوبة وبرودة عن المناخ الحالي
			٦ - أكثر رطوبة عن

### ثالثاً - السهول التى تتكون بفعل الجليد

فى المناطق المنخفضة المنسوب والتى تعرضت لفعل الجليد خلال عصر البلايوستوسين كثيراً ما يتكون فوقها نماذج مختلفة لبعض السهول الجليدية. وتتميز تلك السهول الأخيرة باستواء سطحها العام وقلة تضرسها، إلا أنها جميعاً تتركب أساساً من مفتتات صخرية غير متجانسة الشكل أو التركيب وقد أرسبها الجليد فوق السطح الأصلي للمنطقة الذى كان يمثل سطح المنطقة فيما قبل بداية العصر الجليدى Pre-glacial Surface . ومعنى ذلك أن هذه السهول تعد إرسابية النشأة وليست سهولاً بحالية مثل السهول التحاتية النهرية أو البحرية. ويمكن أن نميز نوعين أساسيين من السهول الإرسابية التى تتكون بفعل الجليد وتتلخص فيما يلى:

#### أ - سهول الطفل الجليدى « مواد صلصالية حصوية » Till Plains

• عندما تغطي الغطاءات والتكوينات الجليدية مساحات واسعة من سطح الأرض كثيراً ما تتجمع مفتتات الرواسب الصخرية أسفل تلك الغطاءات ويزداد تجمعها كذلك أثناء عملية الانصهار التدريجى للجليد . وعلى ذلك يزداد سمك تلك الرواسب بالتدريج وتعمل بدورها على تغطية السطح الأصلي للمنطقة التى تعرضت لهجوم الغطاءات الجليدية بفرشات إرسابية هائلة السمك . وغالباً ما يكون السطح الأصلي شديد التضرس وتكثر به الأحواض المقعرة، والقياب المحدية، ولكن تعمل تلك الرواسب على تسوية هذا السطح ، وتغطيته تماماً بحيث يبدو مستوياً ، ضعيف الانحدار قليل التضرس . ومن بين أنظهر أمثلة ذلك سهول رواسب الطفل الجليدى إلى الجنوب من مدينة ويسكونسين بالولايات المتحدة الأمريكية.

وتتألف رواسب « التيل »<sup>(١)</sup> أو الطفل الجليدى أساساً من المواد الدقيقة

---

(١) على الرغم من أن كلمة ( تيل Till ) شائعة الاستخدام فى امكتننا إلا أن الجيولوجيين والجيومورفولوجيين فى بقية أجزاء بريطانيا يستخدمون تعبير « الطفل الجليدى » Glacial Boulder Clay ليعل على نفس المعنى أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فيستخدم الباحثون تعبير « تيل » مثل الباحثون فى امكتننا .

الحبيبات الناعمة وخاصة الصلصال وتتميز كذلك بأنها غير طباقية، وغير متجانسة التركيب، ويزداد سمك هذه الرواسب في المناطق الحوضية المقعرة الشكل وفي بطون لودية ما قبل الجليد في حين يقل سمكها كثيراً في المناطق القبابية وبأعلى تلال السطح الأعلى للمنطقة (سطح ما قبل الجليد Preglacial Surface). وتتمثل هذه المجموعة من السهول في مناطق واسعة من شمال كندا واسكتلند، وبمناطق شمال غرب أوربا التي تعرضت لفعل الجليد البلايوستوسيني.

#### ب. السهول والمراوح الفيضية الجليدية: Outwash Plains and Fans

عند هوامش القطاعات الجليدية وبالقرب من الركامات النهائية الجليدية كثيراً ما يتعرض الجليد لفعل الانصهار والتراجع الخلفي التدريجي. وعلى ذلك تنساب من تحت الجليد كميات هائلة الحجم المياه المنصهرة التي تنحدر بدورها مع الانحدار العام، وتكون مجارى نهريه غير واضحة الاتجاه تماماً. وتعمل هذه المجارى الأخيرة على نقل مفتحات صخرية كبيرة الحجم ويرجع مصدرها إلى المفتحات الصخرية التي كان يحملها النهر الجليدي نفسه من ناحية. وإلى تلك التي نحتتها المياه المذابة من صفوف المناطق التي شقت فيها مجاريها من ناحية أخرى. وعندما تضعف قوة اندفاع هذه المياه المذابة تتراكم حمولتها على شكل فرشاة هائلة الحجم من الرواسب الحصوية الرملية غير المتجانسة التركيب أو الشكل، ويبنو فوق سطح الأرض على هيئة صورة «مروحة اليد» ومن ثم يطلق عليها تعبير السهول والمراوح الفيضية الجليدية.

وتختلف سهول الطفك الجليدي «التيل» Till Plains عن مجموعة السهول والمراوح الفيضية الجليدية، ذلك لأن الأولى تتكون في المناطق التي غطيت بالقطاعات الجليدية، في حين تتكون الثانية خارج نطاق المناطق الجليدية وبفعل المياه المنصهرة تبعاً للتراجع الخلفي للجليد. كما تتألف السهول والمراوح الفيضية الجليدية من رواسب ومفتحات صخرية تتدرج مع المياه المنصهرة أو تنقل معها بواسطة التعلق، ومن ثم فيعاد تشكيل

هذه الرواسب بفعل المياه الجارية، أما رواسب الطفل الجليدى فتتشكل بفعل الجليد وحده.

وتعد السهول الواقعة إلى الجنوب من منطقة البحيرات العظمى الأمريكية (سوپریور و میتشجان و هورن و ایرى و اونتاريو) أظهر مثال لمجموعات السهول التى تكونت بفعل الجليد خلال عصر البلايوستوسين وفى هذه المناطق تنتشر رواسب الطفل الجليدى، حيث تكونت فوق مقعرات السطح الأصل القديم، كما يزداد انتشار السهول والمراوح الفيضية الجليدية الناتجة عن فعل المياه المنصهرة أسفل الجليد البلايوستوسينى. وتبعاً لتغير منسوب سطح البحيرات الأمريكية السابقة الذكر واختلاف اشكالها وامتداداتها من فترة إلى أخرى، تركت بعض هذه البحيرات (تبعاً لانكماشها) سهولاً بحيرية جليدية واسعة الامتداد وضعيفة الانحدار. (شكل ١٧٩).

وقد اعتقد بعض الكتاب أن عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على تكوين سهول تحاتية جليدية مختلفة. بل أكد بعض آخر منهم حدوث دورة تحاتية جليدية وشبه جليدية فى كل من المناطق التى تأثرت بفعل الجليد. ولكن ينبغي أن نشير إلى حقيقة هامة، وهى أن عصر البلايوستوسين يعد عصرأ قصيراً جداً فى المقياس الجيولوجى الطويل إذ لا يزيد عمره الجيولوجى عن مليون سنة فقط، فإذا فرضنا أن نحو نصف هذه المدة كانت عبارة عن فترات دفيئة أو شبه دفيئة، فيبقى إذن النصف الآخر من هذا العصر الذى تعرضت فيه مناطق سطح الأرض لكل من فعل التعرية الجليدية وشبه الجليدية الحقيقية. ومهما كان مدى فعل هذه العوامل من القوة والشدة فإنه من الصعب اعتبارها قادرة على تكوين سهول تحاتية مترامية الأطراف ذلك لأنه يلزم لنمو هذه السهول الأخيرة مدة طويلة من الزمن الجيولوجى

وإن كانت عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على تكوين سهول تحاتية، فيمكن القول بأن مثل هذه السهول تعتبر مناطق سهلية

محدودة الامتداد . فقد تلاحظ مثل هذه السهول تحت أقدام الجبلات الجليدية تبعاً للتراجع الخلفى التدريجى لهذه الظواهر التفسارية الأخيرة . وقد أوضح بعض الباحثين كذلك أن الغطاءات الجليدية تعمل على تسوية السطح وتكوين سهول تصاتية مترامية الأطراف كما حدث فى الكتلة اللورنشية فى أمريكا الشمالية . وأكد الأستاذ هنرى بوليج فى عام ١٩٥٢ بأن فصل الغطاءات الجليدية لا يعتمد سوى تعديل المظهر الجيومورفولوجى لسطح تعرية سابقة أى بمعنى آخر تعديل مظهر سهول تصاتية كانت أصلاً موجودة من قبل<sup>(١)</sup> .



شكل (١٧٩) التوزيع الجغرافى لبعض أنواع من السهول التى نشأت بفعل جليده البلايستوسين إلى الجنوب من البحيرات العظمى الأمريكية .

(١) حسن أبو المهيمن « سهول الجيومورفولوجيا » - الإسكندرية - ١٩٦٦ و الطبعة الحادية عشرة - الإسكندرية ( ١٩٩٥ )



## الفصل الثالث عشر

### الجزر

يقصد بتعبير جزيرة « An Island » مساحة ما من سطح الأرض بحيث تحيط بها المياه من جميع الجهات . ولم يحدد الباحثون تماماً مدى مساحة الجزر ، وعلى ذلك أطلق الأستاذ ماكيندر Mackinder على كل من يابس قارات أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية، وأوراسيا، وأستراليا ، تعبیر « جزر العالم الكبرى World Islands ».

ولكن رجح الأستاذ سوين Swayne في عام ١٩٥٦<sup>(١)</sup> بأن تعبير جزيرة ينبغي أن يقتصر فقط على أراضي اليابس المحيطة بالمساحة، والأصغر حجماً ومساحة من القارات ، والمحاطة بالمياه من كل الجهات. وذكر بأن قارة أستراليا ربما تمثل الحد الفاصل بين مجموعة الجزر ، ومجموعة قارات اليابس . حيث إنها تعد من حيث المساحة أصغر القارات في حين تمثل في نفس الوقت أكبر الجزر مساحة .

وقد تقع بعض مجموعات الجزر المختلفة المساحة في داخل المجارى النهرية نفسها، ولكن في هذه الحالة ينبغي أن نشير إليها بتعبير الجزر النهرية River Islands تمييزاً لها عن مجموعات الجزر البحرية أو المحيطية Oceanic Islands. ونفس الحال كذلك بالنسبة للجزر البحرية التي تقع داخل البحيرات . وعندما يذكر لفظ جزر فقط (أى دون تمييز) فإن المقصود بهذا التعبير في هذه الحالة مجموعات الجزر التي تقع في الأحواض البحرية والمحيطية ، والتي تمثل أهم مجموعات الجزر فوق سطح هذا الكوكب.

ولا تختلف الجزر فيما بينها من حيث المساحة فقط، بل كذلك من حيث الموقع، (فهناك جزر متناثرة، وأخرى تظهر على شكل مجموعات متجاورة) والشكل العام (ومنها جزر واضحة الاستدارة Well rounded وأخرى طويلة Elongated، أو قوسية الشكل ، وتعرف الأخيرة باسم الأنكواس الجزرية Island Arcs)، ومن حيث التضاريس والمخسوب المحلي

(ومنها جزر منخفضة وأخرى مرتفعة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر) ومن حيث التركيب الجيولوجي والنشأة (ومنها جزر بركانية، وأخرى قارية أو مرجانية النشأة). وقد جرى العرف بين الباحثين على تصنيف مجموعات الجزر فوق سطح الأرض على أساس اختلاف التركيب الجيولوجي لصخورها وتنوع نشأتها والعوامل المختلفة التي أدت إلى تكوينها. وعلى هذا الأساس يقسم الباحثون الجزر إلى ثلاث مجموعات رئيسية تتمثل فيما يلي:

أ- الجزر البركانية.

ب- الجزر القارية.

ج- الجزر المرجانية.

### أولاً - الجزر البركانية

تنتشر مجموعات الجزر البركانية في المحيطات وبوجه خاص في حوض المحيط الهادئ. وتتميز نشأة هذه المجموعة من الجزر إلى حدوث الثورات البركانية التي أنتابت قاع المحيط خلال أزمنة جيولوجية مختلفة، وتجمع المصهورات والالفا على شكل اكوام ومضروطات أو جزر بركانية. أي لا تتكون هذه الجزر من صخور يرجع أصلها أو مصدرها إلى الصخور القارية أو أنها انفصلت عن اليابس المجاور لها ، بل أنها تتألف من صخور باطنية اندفعت من باطن قاع المحيط نفسه. وتتكون للجزر البركانية من أحجام هائلة من المصهورات اللافاية، إذ يبلغ متوسط ارتفاعها عامة نحو ١٥,٠٠٠ قدم فوق أرضية المحيط المجاورة لها.

وقد وجد الباحثون أن هناك علاقة قوية بين التوزيع الجغرافي لكل من التلال والجبال المحيطية Seamounts ومجموعات الجزر البركانية. فإذا كانت المصهورات اللافاية البركانية التي تنبثق من أرضية المحيط غير كافية لظهورها على شكل جزر ترتفع أركانها فوق سطح مياه المحيط ، وتبدو بدورها على شكل تلال وجبال بحرية. وتنتشر مجموعات التلال والجزر

البركانية فوق أجزاء واسعة من أرضية المحيط الهادئ بوجه خاص، وذلك يرجع إلى انتشار مناطق الضعف الجيولوجى الكبرى التى تحيط بحوض المحيط الهادئ، وتنبثق منها المصهورات البركانية، ومن ثم يطلق عليها اسم حلقة النار Ring of Fire . ولقد رعى الباحثين أن قاع المحيط الهادئ يشغله مجموعات هائلة من التلال المحيطية يزيد عددها عن عشرة آلاف تلال بحرى ويقدر متوسط ارتفاعها بنحو ٩٠٠٠ قدم، ومتوسط امتداد كل منها نحو ١٠٠ ميل، ومع ذلك لم تنجح أعالي تلك التلال البحرية من الظهور فوق سطح مياه المحيط لتكون ما يعرف باسم الجزر البركانية<sup>(١)</sup>.

واكنت نتائج الأبحاث الجيولوجية انتشار مجموعات الجزر البركانية فى المحيط الهادئ بالمناطق التى تعرضت للحركات التكتونية العنيفة فى أواسط الزمن الجيولوجى الثالث وما زال بعضها يتعرض لبعض الحركات التكتونية فى الوقت الحاضر. ويرتفع اليوم فوق قاع المحيط الهادئ نحو ٢٠٠٠ جزيرة بركانية، ويقدر مجموع مساحتها فى المحيط نحو ٧٠,٠٠٠ ميل مربع. وأشهرها جميعاً مجموعة جزر هاواى ومن ثم يعتبر المحيط الهادئ فريداً من نوعه حيث لا تضم أرضية أى محيط آخر غيره هذا العدد الهائل من الجزر البركانية. ويطلق على الجزر البركانية فى المحيط الهادئ اسم الجزر المرتفعة High Islands وذلك تبعاً لارتفاع منسوبها فوق سطح مياه المحيط، وشدة تفسرسها ومن ثم تتنوع فيها الحياة النباتية بل والحيوانية، فى حين يطلق على الجزر المرجانية المنشأة اسم الجزر المنخفضة Low Islands تبعاً لانخفاض منسوبها واستواء سطحها وتكوينها من مسخور جيرية مرجانية فقط، ويتمثل فوقها عائلات نباتية محدودة جداً تبعاً لمسامية مسخورها، وبالتالي ندرة المياه الجارية فوق سطحها ونقص تربتها .

---

(١) حسن أبو العينين ( دراسات فى جغرافية البحر والمحيطات ) بيروت - ١٩٦٧ والطبعة

الثامنة - الإسكندرية ( ١٩٩٦ )

وقد تبين أن معظم مجموعات الجزر البركانية النشطة بالمحيط الهادى حديثة التكوين تبعاً لخشونة سطحها وشدة تضررسه . وما زال الكثير منها يتعرض فى الوقت الحاضر لحدوث الثورات البركانية الحديثة . ولهذا أوضح وينتوارث Wentworth بأن مجموعة جزر هاواى لم تبلغ بعد مرحلة الشباب من سلسلة التطور الجيولوجى .

وأوضح الباحث ستيرن Stearns فى عام ١٩٤٥ بأن الجزر البركانية تمر عادة بدورة نمو تحدث على فترات متعاقبة تتلخص فيما يلى :

أ - مرحلة الطفولة : ويبدأ تكوين قاعدة الجزر البركانية خلال هذه الفترة وذلك تبعاً لتجمع صخور الأوليفين البازلتية . وخلال هذه المرحلة ، يزداد ارتفاع المصهورات البركانية من باطن الأرض .

ب - مرحلة الشباب : تتعرض جوانب فوهة البركان المحيطى خلال هذه المرحلة إلى السقوط والانهدام ومن ثم تتكون حوائط شديدة الانحدار حول أعالي البركان ، وتتسع فى نفس الوقت أعالي المخروط البركانى .

ج - مرحلة الكهولة : وخلال هذه المرحلة يتعرض المخروط البركانى المحيطى ، للامتلاء التدريجى ، ويتميز سطحه بالاستواء العام تبعاً لزيادة حجم الرواسب .

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجى المختلفة أن معظم الصخور البركانية لهذه الجزر بالمحيط الهادى تعزى إلى الانبثاقات البركانية التى تعرض لها قاع هذا المحيط خلال الزمن الجيولوجى الثالث .

### ثانياً : الجزر القارية

اختلفت آراء الكتاب حول تحديد معنى « الجزر القارية » . وقد ميز بعض الكتاب بين نوعين من الجزر القارية هما :

أ - جزر قارية النشأة : ويقصد بها تلك الجزر التى انفصلت عن القارات المجاورة لها بفعل الحركات التكتونية خلال العصور الجيولوجية المختلفة . ومن ثم تتركب هذه الجزر من صخور متنوعة إلا أنها كثيراً ما

تشابه التركيب الجيولوجى العام ليايس القارات المجاورة لها والتي انفصلت عنه ومن بين أمثل هذه المجموعة جزر اليابان، وأندونيسيا، وجرينلند.

ب - جزر قارية - محيطية النشأة: ويقصد بها تلك الجزر التي تتركب صخورها غالباً من المصهورات اللافية السائلة، أى بمعنى آخر أنه على الرغم من أن تكويناتها لم تنفصل عن اليايس المجاور لها ، إلا أنها تتألف من تكوينات صخرية سيالية قارية ، وتقع كذلك فيما وراء حد الأندست (أى المناطق الهامشية لأطراف القارات) ويقتصر تكوين مثل هذه المجموعات من الجزر على طول المناطق الضعيفة جيولوجياً والتي تقع فيما بين المناطق الحديثة للياس والماء. وقد ميز بعض الجيولوجيين بين نوعين متشابهين للمجموعتين السابقتين من الجزر يتمثلان فيما يلى:

(أ) الجزر القارية التي نتجت بفعل هبوط أجزاء من القارات أو تزعزعها خلال عصور جيولوجية مختلفة . ومن أهم الجزر التي تتبع هذه المجموعة ، جزر آيسلند ، وجرينلند ، وجزر الأرخبيل الواقعة فى شمال أمريكا الشمالية بحيث انفصلت هذه الجزر جميعاً عن كتلة القارة القطبية الشمالية القديمة بفعل عوامل الهبوط الأرضى Subsidence . وينتمى إلى هذه المجموعة كذلك جزيرة تيرانلفويجو التي انفصلت عن الرأس الجنوبى لأمريكا الجنوبية ، وجزيرة مدغشقر التي انفصلت عن جنوب شرق أفريقيا ، وجزيرة سيلان التي انفصلت عن شبه القارة الهندية الباكستانية ، وجزيرة هينان التي انفصلت عن كتلة جنوب شرق الصين ، وجزيرة تسمانيا التي انفصلت عن إقليم جنوب شرق استراليا.

(ب) الجزر القارية التي نشأت أساساً بسبب وقوعها فى مناطق ضعف جيولوجية كبرى ، وصاحب نشأتها هبوط قارات الياس من ناحية ، وتعرض هذه الجزر لثورانات بركانية من ناحية أخرى وتتمثل الجزر التابعة لهذه المجموعة فى مجموعات الأقواس الجزرية التي تنتشر بوجه خاص فى المحيط الهادى.

وقد تظهر بعض الجزر البركانية المنشأة الصغيرة الحجم ، في قاع بعض المجارى النهرية العريضة الكبيرة الحجم ، مثل نهر النيل ، والأمزون ، والكانج ، وإيراوانى وكولمبيا ، وتنشأ هذه الجزر النهرية البركانية عندما يشق النهر مجراه في مضاب بركانية ، أو مرور مجرى النهر فوق عروق وسدود تارية ، ومن ثم يعمل النهر على نحت الأجزاء الأقل صلابة منها ، في حين تظهر بقاياها الشديدة الصلابة على شكل جزر صغيرة الحجم ، وتؤلف في مجموعها مناطق جبال من الصعب اجتيازها عن طريق الملاحة النهرية.

أما البيولوجيون فيقسمون الجزر على أساس العائلات النباتية والحيوانية التي تتمثل فوقها إلى نوعين رئيسيين هما:

أ - جزر قارية: ويقصد بها في هذه الحالة تلك الجزر التي تتكون فوقها مجموعات من العائلات النباتية والحيوانية تشبه تلك التي تتمثل على شواطئ القارات المجاورة لها.

ب - جزر محيطية: ويقصد بها تلك الجزر التي تشتمل على أحياء نباتية وحيوانية تختلف تماماً عن تلك التي تتمثل على اليابس المجاور. ومن ثم تتكون فوق هذه الجزر المحيطية كائنات نباتية وحيوانية محلية

خاصة Endemic Species

ويقصد بالجزر القارية في هذه الدراسة تلك التي تتألف من الصخور القارية، ثم انفصلت عن اليابس المجاور بفعل عوامل ما ومن ثم ظهرت على شكل جزر قارية المنشأة، متناثرة فوق قاع المحيط المجاور ولم تستطع مياه المحيط تقطيعها كلية بالمياه. وقد يرجع سبب انفصال هذه الجزر القارية المنشأة عن اليابس إلى الحركات التكتونية والتي قد تتمثل في حركات الهبوط الأرضي أو حركات التصدع . ومن بين أهم أمثلة هذه المجموعة من الجزر الأتواس الجزرية بالمحيط الهادى، ومنها: جزر الوشيان وجزر كوريل وجزر اليابان وجزر الفلبين وجزر جنوب شرقى آسيا وجزر نيوزيلند وجزر نيوكاليدونيا. وأهم الأدلة التي تشير على أن المنشأة القارية لهذه الجزر، إنها تتركب جيولوجياً من صخور السيل القارية، ويشبه

نظام بنية صخورها ذلك الذى يتمثل على القارات المجاورة لها. وفيما يلي عرض موجز من الخصائص العامة لبعض هذه الأقاليم الجزرية القارية الناشئة.

أ - قوس جزر كوريل: يمتد هذا القوس الجزرى من كمشتكا Kamchatka شمالاً إلى جزيرة هو كايدو Hokkaido جنوباً. وقد دلت الدراسات الجيولوجية على وجود طبقات سميكة من الرواسب القارية خاصة فوق الجزء الشمالى لهذا القوس . وتبين كذلك بأنها رواسب قديمة لا ترجع إلى خصائص توزيع اليابس والماء فى الوقت الحاضر ، بل أرسبت خلال عصور جيولوجية سابقة. وإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن هذا القوس الجزرى كان جزءاً من اليابس المجاور فى عصور جيولوجية سابقة، ثم تبعاً لتوالى حدوث العمليات التكتونية انفصل عن اليابس المجاور بواسطة البحار الضحلة .



- خوائق محيطية

١- ألوشيان

٢- كوريل

٣- اليابان

٤- ريوكيو

٥- هونشو

٦- مارينا

٧- ياب

٨- بالاو

٩- الفلبين

١٠- إندونيسيا

شكل (١٨٠) الأقاليم الجزرية القارية فى شرقى آسيا، لاحظ ارتباط توزيعها الجغرافى مع امتداد الخوائق الطولية المحيطية.

ب - قوس جزر اليابان : ترتبط مجموعة الجزر اليابانية باليابس المجاور بصلات جيولوجية قوية . فقد عثر في بعض بقاع من الجزر اليابانية على كتل صخرية من الجرانيت مختلطة مع تكوينات العصر البرمي . وقد أوضحت الدراسات الجيولوجية بأنه ليست هناك أدلة تثبت حدوث تكوينات العصر البرمي بجزر اليابان نفسها ، وأكد كوباياشي Ko-bayashi أن مصدر هذه الصخور الجرانيتية البرمية هي الكتلة السدوية النارية التي تظهر معالمها على سطح الأرض بالقرب من فلاديفستك Vi-ladivostok . ويفصل بحر اليابان الجزر اليابانية عن اليابس المجاور ، ويبلغ متوسط عمق هذا البحر نحو ٣٦٠٠ قدم . وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن مناطق السدود البركانية التي تشغل أرضية بحر اليابان اليوم كانت أرضاً يابسة خلال الزمن الجيولوجي الرابع ، وساعدت بدورها على هجرة الفيلة الآسيوية إلى جزر اليابان<sup>(١)</sup> .

ج - قوس جزر الفلبين : يطلق على القسم الشمالي منها قوس ريوكيو Riu Kiu . ويفصل هذا القوس الجزري عن اليابس للمجاور بواسطة بحر الصين الشرقي الضحل والذي يبلغ متوسط عمقه نحو ٢٠ قدماً . وقد دلت الدراسات الجيولوجية على تشابه التركيب الجيولوجي ونظام بنية الطبقات الصخرية بين كل من قوس جزر الفلبين واليابس الآسيوي المجاور . فيتمثل في كل منهما صخور جيوية ترجع إلى الزمن الجيولوجي الثالث ، وصخور بركانية من نفس ذلك الزمن الأخير مما يؤكد أن قوس جزر الفلبين قاري النشأة . (انظر شكل ١٨٠) .

د - قوس جزر إندونيسيا : يعد هذا القوس الجزري في الحقيقة قوساً مزدوجاً ، يقسمه بحر بندا Banda ويحصر فلورس Flores Sea إلى مجموعتين من الجزر هما :

١ - المجموعة الأولى وتشمل القوس الشمالي : وتتألف من جزر بورنيو Borneo ، وسيليبس Celebes ، وتيو غينيا New Guinea .

(١) حسن أبو العينين ( دراسات في جغرافية البحار والمحيطات ) بيروت - ١٩٦٧ والطبعة

الثامنة - الإسكندرية - مؤسسة الثقافة الجامعية - ( ١٩٦٦ )

ب - المجموعة الثانية وتشمل القوس الجنوبي : وتتكون من عشرات من الجزر أهمها جزر سومطرة Sumatra ، وجاوه Java ، ولومبوك ، وفلورس Flores ، وتيمور Timor ، وتيمبر Tenimber .

ويعد بحر بندا أقصى امتداد للبحار الهندية التي تتبع شرق القارة الآسيوية ، أما جزيرة جاوه وسومطرة وبعض الجزر الصغيرة المجاورة لهما ، فتقع جميعها فوق رفوف قاري هابط وعلى هذا الرفوف الأخير نجع الجيولوجيون في كشف مجرى نهر مولنجراف Molengraaf المنخفض البلايستوسينى . وفي بداية الزمن الجيولوجى الثالث كانت هذه الجزر أرضاً قارية متصلة بعضها البعض الآخر ، ولا يفصل بينها سوى بحار قارية هامشية Epicontinental Seas . وخلال عصر الميوسين تعرضت هذه البحار لفعل الهبوط الأرضى واتسعت للمساحات المائية بين مجموعات الجزر . وقد دلت الدراسات الجيولوجية كذلك على أن التركيب الصخري لهذه المجموعات الجزرية القارية يعد تركيباً معقداً ، بخلاف التركيب الصخري البسيط لمجموعات الجزر البركانية النشأة ، فتتركب صخور المجموعة الأولى عادة من صخور متنوعة النشأة ( قارية ومتحولة وإرسابية ) من أصل قارى ، وتشكل نظام بنيتها بحركات تكتونية مختلفة خلال عصور جيولوجية متعاقبة ، في حين تتألف مجموعات الجزر البركانية النشأة من الالافا والمصهورات البركانية وقد يتجمع على حوافها الهامشية الشعاب المرجانية .

### ثالثاً - الجزر المرجانية

تنمو الجزر المرجانية في بعض مياه البحار الاستوائية والمدارية ، وتتألف هذه الجزر من كتل صخرية جيرية كانت أصلاً أجزاء من هياكل عظمية صلبة لحيوان المرجان . وعند اندثار الهياكل الجيرية للكائنات البحرية المختلفة وتجمع الهياكل المرجانية واغترلاطها بمعادن مختلفة تتكون صخور متنوعة من الصخور المرجانية ، أى بمعنى آخر فإن الجزر المرجانية تعد عضوية النشأة . ويعتبر الأستاذ داروين Darwin أول من

عرض لدراساتها دراسة علمية وذلك منذ عام ١٨٤٢ (١) . وقد صنف داروين الظواهر التي تبدو عليها أشكال المستعمرات المرجانية فيما يلي:

#### أ - الجزر الحلقية المرجانية: Atolls

وهي عبارة عن جزر تتألف من حيوان المرجان، ذات ارتفاع محدود فوق مياه سطح البحر ، وتحصر بينها بحيرة مستنقعية واسعة ضحلة، وقد تتصل هذه البحرية بمياه البحر بواسطة فتحات ضيقة ضحلة تفصل بين هذه الجزر المرجانية.

#### ب - الحواجز الحدية: Fringing Reefs

وهذه تتألف من حواجز مرجانية تظهر فوق سطح الماء في أوقات الجزر . وتتمثل هذه الحواجز على طول خط الساحل نفسه أو تقع بجواره ، ويتراوح متوسط عرضها (من خط الساحل إلى داخل البحر) نحو ميل واحد، وتتميز هذه الحواجز بأن لها انحدار بسيط متجه صوب البحر.

#### ج - الحواجز المدوذية: Barrier Reefs

وهي تشبه الحواجز السابقة من حيث تكوينها وشكلها العام إلا أنها تختلف عنها من حيث المواقع ذلك لأنها تقع غالباً على بعد عدة أميال من خط الساحل ، بل وقد تنفصل عن الساحل بواسطة البحيرات المستنقعية الضحلة . ومن أشهرها الحاجز المرجاني الكبير في شمال شرق أستراليا.

ويميز المرجان عادة في جماعات ويكون مستعمرات تتألف من مجموعات متعددة من حيوانات المرجان الفردي Polyps أو تلك المركبة . وينمو المرجان بمياه البحر ألقياً أو رأسياً ، ويلاحظ أن الفرق بين المرجان الميت والآخر الحي ، هو أن النوع الأولي يكون غالباً متحجراً أو متماسكاً Cemented ومختلط به تجمعات هائلة من الطحالب الجيرية والكلسية منها تلك المعروفة باسم Nullipores

---

(1) Darwin, C., "Voyage Of the Beagle", London, (1842).

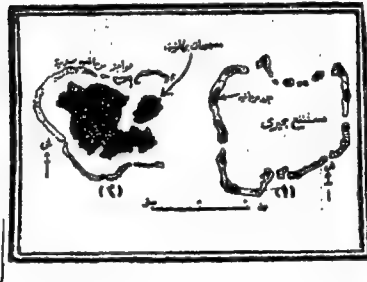
ويتوقف سرعة بناء الحواجز المرجانية على مدى نمو حيوان المرجان وتكاثره والذي يعتمد غذائه من بعض الكائنات البحرية مثل الطحالب. ويحتاج المرجان إلى بيئة بحرية خاصة بحيث لا تقل درجة حرارة المياه عن ٢٨ ف. وعلى ذلك فإن نمو الجزر الحلقية والحواجز المرجانية مقصوراً بين دائرتي عرض ٢٠ شمالاً وجنوباً ، اللهم إلا في بعض الحالات الخاصة حيث قد يتأثر نمو المرجان بمنزور التيارات البحرية الدفيئة. ومن المستعمرات المرجانية التي تتبع المجموعة الأخيرة، هي تلك التي تتمثل حول جزيرة برمودا Bermudas حيث تأثرت بمياه تيار الخليج الدافئ. ولذا يقلب تكوين الجزر والحواجز المرجانية على طول السواحل الغربية للمحيط الأطلسي عنها إذا ما قورنت بتوزيعها على السواحل الشرقية للمحيط ، حيث تتعرض السواحل الأولى لفعل التيارات البحرية الدفيئة.

ويلزم أن تكون للسطحات المائية التي ينمو فيها المرجان صافية ونسبة الأملاح فيها كبيرة. وعلى ذلك لا ينمو المرجان عند مصبات الأنهار حيث تصب الأنهار في مياه البحر كميات هائلة من الطمي والطين تعرقل نمو المرجان. ويزداد نمو للمرجان عادة على الشواطئ البحرية التي تتعرض لتلاطم الأمواج وتأثير المد ، والتيارات البحرية الدفيئة. وقد أثبتت الدراسات البيولوجية أن التيارات البحرية تمد المرجان الحي بكميات كبيرة من الأوكسجين والغذاء اللازم لنموه. ولا يستطيع المرجان البقاء طويلاً فوق سطح الماء وأن يتعرض للهواء الخارجي، وعلى ذلك لا يظهر المرجان عادة فوق مستوى سطح الجزر أو لكد المنخفض. ويحتاج المرجان كذلك إلى ضوء الشمس ولذا لا ينمو عادة على أعماق تبعد عن ٢٥ قامة من سطح الماء. وعلى طول الساحل الغربي للبحر الأحمر بجمهورية مصر العربية تنتشر المستعمرات المرجانية فيما عدا السطحات المائية التي تقع عند مصبات الأنوية شبه الجافة .

### الجزر المرجانية الحلقية

يطلق تعبير « الجزر المرجانية الحلقية » Atoils على مجموعات الجزر

التي ترجع نشأتها إلى تراكم حيوانات المرجان ومستعمراته بحيث تكون الشكل العام لهذه الجزر . ويشيع انتشار هذه الجزر في المحيط الهادئ ، ويلاحظ أنها تظهر على شكل حلقة دائرية من الجزر الصغيرة المساحة تحصر بينها مستنقع بحري كما هو الحال مثلاً بالنسبة لجزيرة فانيكورو (مجموعة جزر كارولين بالمحيط الهادئ) أو قد يتوسطها تراكمات من مصهورات بركانية كما هو الحال بالنسبة لجزيرة كوهاس بالمحيط الهادئ. (شكل ١٨١)



شكل (٧١١) الجزر المرجانية الحلقية

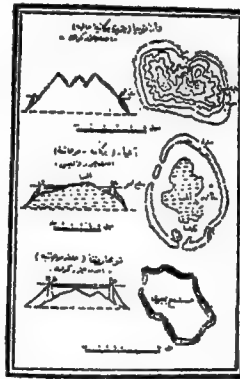
١ - جزيرة فانيكورو - من مجموعة جزر كارولين .

٢ - جزيرة مرجانية سدية - جزيرة كوهاس .

وقد تبين أن كل الجزر المرجانية بالمحيط الهادئ تقع فوق صخور نارية بركانية إلا أن هذه المصهورات الأخيرة لا يزيد منسوبها عن ١٥ قدم فوق مستوى سطح البحر وعلى ذلك هيئت في نفس الوقت للمستعمرات

المرجانية بيئة صالحة لنموها وتكاثرها، (خاصة الجزر الواقعة فى المياه اللندرية وتعرض لفعل تلاطم الأمواج) وتبعاً لانخفاض منسوب هذه الجزر عن مستوى سطح البحر، فيطلق عليها البحارة اسم الجزر المنخفضة Low Islands تتميز لها عن الجزر البركانية المرتفعة.

وعلى تلك تتألف الجزر المرجانية من الصخور الجيرية التى من أصل عضوى . وتتكون هذه الصخور خلال مدة طويلة من الزمن تبعاً لاندثار الكائنات البحرية التى تستخلص الجير من مياه البحر وخاصة حيوانات المرجان.

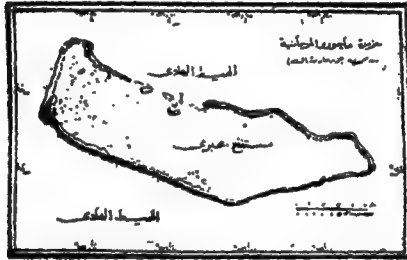


شكل (١٨٢) نماذج لبعض أنواع الجزر بالمحيط الهادى.

وتختلف الجزر المرجانية الحلقية فيما بينها من حيث الحجم إلا أنها تتشابه جميعاً فى خاصية أساسية وهى انخفاض منسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر، كما أنها تبدو على شكل اشربة قوسية من الأراضي المستوية السطح تكون مع بعضها البعض حلقة متسعة تمحور بينها بحيرة مستنقعية ضحلة Lagoon ويوضح (شكل ١٨٢) ، نماذج متنوعة للجزر المرجانية الحلقية بالمحيط الهادى . (جزيرتا راتانوجا،

وتونجاريا) من جزر كوك (وجزيرة أكيا - إحدى جزر واليس).

ولا تؤولف الجزر المرجانية الحلقية دائرية هندسية دقيقة الشكل، بل غالباً ما يبدو أحد أقطارها أكبر طولاً عن بقية الأقطار الأخرى. ومن بين أمثلة ذلك جزيرة ماجور (من مجموعة مارشال)، وجزيرة كانتون Canton (إحدى مجموعة جزر فيونكس Phoenix). وتتصلب أشرطة الجزر المرجانية الحلقية عن بعضها البعض بواسطة مناخل بحرية ضيقة ضحلة (تعرف باسم موتس Motus)، وقد يرتفع فيها منسوب المياه إذا ما تعرضت هذه المضائق لعمليات الهبوط التدريجي. وتبعاً لضيق الإتساع العرضي للجزر المرجانية فإن مساحة أراضي هذه الجزر الحلقية المرجانية تعد بسيطة جداً إذا ما قورنت بمساحة البحيرة الملحية التي تنحصر بين أشرطة هذه الجزر (شكل ١٨٣).



شكل (١٨٣) جزيرة ماجور المرجانية الحلقية (مجموعة جزر مارشال)

وتبعاً لانخفاض منسوب سطح الجزر المرجانية الحلقية عن مستوى سطح البحر المجاور، فمن أهم مشاكل الحياة فوق هذه الجزر هو كيفية الحصول على المياه العذبة اللازمة لحاجات السكان. فمن الطبيعي أن أي مياه جوفية بهذه الجزر تكون شديدة الملوحة تبعاً للتكوين الصخري الجيري للجزر ونادراً ما تتمثل أنهار دائمة فوق الجزر المرجانية أو مستنقعات تحتوي على بعض المياه العذبة لأن هذه الجزر تتعرض دائماً لموجات البحر العالية (تبعاً لانخفاض منسوبها) كما أن المياه سرعان ما تتسرب في الصخور الجيرية العالية المسامية.

ولكن قد تنمو بعض أشجار المانجروف على الحواف الحدية لبعض الجزر المرجانية خاصة إذا ما اختلطت الصخور الجيرية برواسب طينية أو رملية أو مواد عضوية أخرى تقلقها الأمواج أو الرياح أو تتركها الطيور البحرية كما هو الحال بالنسبة لأشجار المانجروف التي تحيط بجزيرة هوب المرجانية بحاجز استراليا الكبير (شكل ١٨٤)



شكل (١٨٤) جزيرة هوب - حاجز استراليا الكبير - لاحظ نموغابات المانجروف التي تنمو في الرواسب المحصورة.

وقد تتعرض البحيرة الداخلية لعمليات الرفع التدريجي ومن ثم تتكون جزر حلقية مرتفعة Raised atoll islands، ومن هنا تصبح إمكانية العبور على المياه الجوفية العذبة أمراً أقل صعوبة عما هو الحال فوق الجزر المرجانية المنخفضة المصدونة المساحة. ومن بين أمثلة الجزر المرجانية الحلقية المرتفعة، جزر ماكتيا Makatea ونيوارو Nauru، وجونستون Johnston، وبكر Baker، وهولاند Howland، ومركس Marcus بالمحيط الهادئ.

وقد تحتوي أعالي بعض الجزر البركانية - العالية على تكوينات من

الصخور الجيرية المرجانية، وإن دل ذلك على شيء فإنما يدل على أن هذه الجزر البركانية كانت في بداية نشأتها قريبة من مستوى سطح البحر، وتكون فوقها بعض المستعمرات المرجانية، تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التدريجي . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الجزر جزيرة جوام Guam<sup>(١)</sup>.

وقد أطلق بعض الكتاب تعبير « الجزر المركبة Complex Islands » على تلك الجزر البركانية التي تعرضت لعمليات الرفع التكتونية داخل نطاق المستنقع البحري الداخلي Lagoon . إلا أن البعض الآخر يفضل أن يطلق على مثل هذه الجزر اسم « جزر حلقة شبه مرجانية » Almost atolls ومن أجمل أمثلة هذه الجزر شبه المرجانية مجموعة جزر (ياب) في المحيط الهادي (١٢٨٥ شرقاً ، ١٣٠ شمالاً) . وتتألف هذه الجزر (ياب - توميل - ماب - رومونج) من صخور بركانية تعرضت لعمليات الرفع التدريجي، ويختلف منسوبها من منطقة إلى أخرى حيث تمثل أراضي مرتفعة (٨٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر) وأخرى منخفضة (أقل من ٣٠٠ قدم فوق مستوى البحر)، وتحيط هذه التكوينات البركانية للمستعمرات المرجانية التي تمتد على شكل حلقة مثقلة الشكل بحيث تمثل جزيرة توميل رأس المثلث وجزيرتا رومنج وياب قاعد المثلث (شكل ١٨٥).

#### نشأة الجزر المرجانية الحلقية:

اختلفت الآراء فيما يختص بتفسير نشأة الجزر المرجانية الحلقية، وتعد أقدم التفسيرات تلك التي رجحها العالم تشارلس داروين Charles Darwin في كتابه Voyage of the Beagle في عام ١٨٤٢ م<sup>(١)</sup> وقد لاحظ داروين أن هناك علاقة مترابطة بين كل من الجزر المرجانية والصواجز الحدية والسديلة المرجانية، ووقعها فوق المصهورات البركانية. وقد رجح داروين أن نشأة الجزر الحلقية المرجانية تمر بدوره نمو خاصة تتلخص فيما يلي:

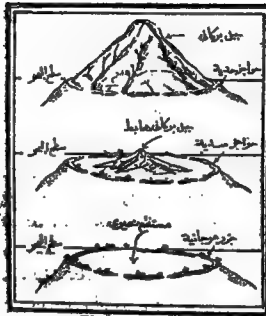
(١) حسن أبو المينين « دراسات في جغرافية البحار والمحيطات » بيروت ١٩٦٧ والطبعة الثانية -



شكل (١٨٥) مجموعة جزر يلب بالمحيط الهادى.

أ - المرحلة الأولى: فى هذه المرحلة يبنى المرجان لنفسه مستعمرات مرجانية على جوانب المصهورات البركانية أو الجزر البركانية بالمحيط وخاصة فى المياه الدائرية التى تناسب نموه. وعلى ذلك تبدو هذه المستعمرات المرجانية على شكل حواجز مرجانية حدية Fringing Reefs (شكل ١٨٦).

ب - المرحلة الثانية: وتعرض الجزر البركانية خلالها لعمليات الهبوط التدريجى بينما ترتفع الحواجز المرجانية الحدية إلى أعلى تبعاً لمدى سرعة حركة هبوط الكتلة البركانية الوسطى. وعلى ذلك تصبح الحواجز المرجانية الحدية على شكل حواجز مرجانية سدوية Barrier Reefs.



شكل (١٨٦) نشأة الجزر المرجانية حسب تفسير شارلس داروين.

ج . المرحلة الثالثة : تتعرض الجزيرة البركانية خلال هذه المرحلة الأخيرة لعمليات الهبوط التدريجي المستمر إلى أن تتلاشى الجزيرة البركانية تماماً ، بينما تنمو فوق أعاليها المستعمرات المرجانية وتتخذ شكل أشرطة قوسية تؤلف كلها مجتمعة حلقة شبه دائرية الشكل وتحمصر بينها بحيرة داخلية ضحلة ، وتنفصل الأشرطة القوسية فيما بينها بواسطة فتحات بحرية ضحلة ضيقة. (شكل ١٥٠ ج).

وكان من أظهر انصار رأي داروين ، العالم الجيومورفولوجي ولیم موريس دافيز W. M Davis <sup>(١)</sup> الذي عمل على تدعيم هذه النظريات بالدراسات العلمية التجريبية. وقد اكدت نتائج الدراسات الاقياونوغرافية الحديثة تعرض اواسط بعض الجزر البركانية للمرجانية لعمليات الهبوط التدريجي. فقد تبين من أعمال الحفر الجيولوجي بجزيرة بيكيني Bikini المرجانية على وجود صخور جييرية ومختلط بها بعض حفریات الزمن الثالث عند عمق ٢٥٦٦ قدم من سطح البحر. واستنتج الباحث (Ladd H.S. في عام ١٩٤٨ أن الصخور البركانية للقاعدية التي ترتكز عليها جزيرة بيكيني تتمثل على عمق ٨٠٠٠ قدم. وعلى ذلك إذا كانت الكائنات

المرجانية قد نمت بسرعة لكي تكوّن مثل هذا السمك الكبير فيمكن أن نستنتج في الوقت نفسه كذلك أن هذا الجزء من المحيط قد تعرض لعمليات الهبوط التدريجي<sup>(١)</sup>.

لما سهرجون مورى Sir J. Murray فقد اعتقد أن للمستعمرات المرجانية تنمو من أسفل إلى أعلى خاصة في الفتحات البحرية الضحلة، والتي تمثل بدورها بيئة صالحة لنمو المائلات المرجانية. وقد أوضح كذلك أن المرجان يزداد نموه في المراكز الوسطى من مناطق تجمعه، أما عند أطراف المستعمرات المرجانية فيتعرض حيوان المرجان للهلاك تبعاً لقلة الغذاء، وعلى ذلك يتعرض هيكل المرجان لعمليات الإذابة المستمرة. ووفقاً لهذا التفسير اعتقد «مورى» أن نشأة البحيرة الدلخلية الضحلة ترجع إلى أثر عمليات نويان المرجان وتجمع الفتحات المرجانية بها. ولا يحتاج تفسير نشأتها إلى حدوث عمليات هبوط قاع البحر أو ارتفاعه. بينما ارتفعت أشربة الجزر المرجانية القوسية تبعاً لزيادة نمو المرجان في هذه الأجزاء. وكان من أنصار هذا الرأي الملاح البيولوجي المشهور الكسندر أجازيز Alexander Agassiz

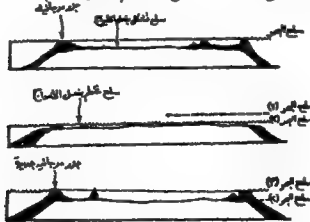
إلا أن الباحث فوجهان T. W. Vaughn أكد بعد دراسته لتجمعات المرجان الميت في منطقة ساحل فلوريدا Florida Keys، بأن عمليات إرساب الجير Lime deposition<sup>†</sup> أكبر بكثير من عملية نويانه، ويعزى ذلك إلى النسبة الضئيلة جداً من ثاني أكسيد الكربون بالمياه. واعتقد فوجهان أن عملية نويان الحجر الجيري المرجاني بمياه البحر دون وجود نسبة كبيرة من ثاني أكسيد الكربون يعد أمراً غريباً من الناحية العلمية.

وفي عام ١٩١٠ رجح الباحث الأمريكى «دالى» R. A. Dally نظرية أخرى تفسر نشأة الجزر المرجانية الحلقية، ثم أكد أراؤه من جديد في كتابه عن «لرغسية المحيطات» في عام ١٩٤١. فقد لاحظ «دالى» أن معظم للمستنقعات البحرية التي تختصر بين الجزر المرجانية الحلقية ذات أعماق متشابهة تقريباً حيث يتراوح أعماقها من ١٥٠ إلى ٢٥٠ قدم. كما أن بعض

(1) Davis W.M "The coral reef problem", Amer. Geol. Soc. Spec. publ No. 9., (1928).

القمم الجبلية العالية، لبعض الجزر البركانية (مثل جزيرة هاواي) تعرضت للتعرية الجليدية البلايوستوسينية. وعلى ذلك اعتقد نالي أن المياه التي تحيط بالجزر خلال عصر البلايوستوسين كانت أعلى برودة وأقل ملوحة (تبعاً لانصهار الجليد وتراكمه فوق أعالي بعض الجزر) عن المياه الحالية، وهي خصائص من الصعب أن تنمو فيها أي مستعمرات مرجانية. وإذا كان هذا الرأي صحيحاً، فإن المستعمرات المرجانية حول جزر هاواي وغيرها من الجزر لابد وأن تكون قد نشأت بعد عصر البلايوستوسين وعند بداية العصر الحديث.

وعندما حسب نالي حجم الكتل الجليدية التي تجمعت في البحار والمحيطات خلال عصر البلايوستوسين تبين له أن هذا الجليد قد أدى إلى انخفاض منسوب سطح البحر بنحو ٣٠٠ قدماً عما هو عليه اليوم . ومعنى ذلك أن المستعمرات المرجانية التي بدأ تجمعها بعد نهاية عصر البلايوستوسين قد تكونت في مياه يكثر بها نسبة الصلصال تبعاً لتلاطم الأمواج في الرواسب الحديثة التجمع، كما أنها لم ترتفع عن سطح البحر إلا بنحو بضعة أقدام ، وعندما أخذ مستوى سطح البحر في الارتفاع التدريجي تمكنت بعض المستعمرات المرجانية من المقاومة في سبيل البقاء وذلك بتكاثرها السريع وبناء مستعمرات مرجانية كثيفة ، وترتفع إلى أعلى مع حركة ارتفاع مستوى سطح البحر (شكل ١٨٧).



شكل (١٨٧) نشأة الجزر المرجانية حسب تفسير نالي.

وحسب رأى دالى تعتبر المستنقعات البحرية التى تقع بين أشرطة الجزر المرجانية، أحواضاً أخذت تتجمع فيها الرواسب والمفتتات الصخرية والمغصوية التى أرسبتها الأمواج. ويتناسب أعماق هذه المستنقعات تناسباً طرئياً مع مساحتها ومدى اتساعها . فكلما زادت مساحتها يزداد عمقها والعكس صحيح . غير أن هناك بعض النقاط التى لم تستطع نظرية دالى تفسيرها وتتلخص فيما يلى:

١- أثبتت عمليات الحفر Boring فى الصخور خاصة فى جزر فونافوتى Funafuti وبيكىنى Bikini أن هناك تكوينات من الصخور الجيرية المرجانية تقع على أعماق ٣٠٠٠ قدم وترجع نشأتها إلى الزمن الثالث.

ب- أكدت الأبحاث الاثنيانوغرافية حدوث حركات الهبوط فى أواسط بعض مجموعات الجزر البركانية.

ج- لا ترجع كل المستعمرات المرجانية المحيطية بالجزر إلى العصر الحديث فقط.

د . لم تفسر آراء دالى كيفية تكوين المستعمرات المرجانية فوق قمم الجزر البركانية العالية.

أما فيما يتعلق بالحواجز المرجانية فهذه تنتشر فى بعض المسطحات المائية المدارية خاصة بالمحيطين الهادى والهندي. أما فى المحيط الأطلسى فتظهر الحواجز المرجانية حول بعض جزر الهند الغربية وبحوار أجزاء من الساحل الشمالى الشرقى للبرازيل. ومن الحواجز المرجانية التى تخرج نسبياً عن نطاق المياه المدارية، حواجز برمودا ، التى نشأت بمساعدة مياه تيار الخليج الدافئ

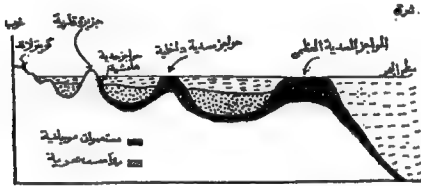
وأظهر هذه الحواجز جميعاً هو الحاجز المرجانى الكبير الذى يقع شمال شرق استراليا، ويبدأ من أقصى شمال ساحل كوينزلاند وتنتشر أطرافه الشمالية فى مياه مضيق تورس Torres ، ثم يسير جنوباً بمحاذاة

ساحل كوينزلاند لأكثر من ١٠٠ ميل ويبلغ أقصى اتساع الحاجز أمام بلدة ماكاي Mc. kay حيث يبلغ عرض الحاجز بالقرب من خط الساحل إلى نهايته في البحر مسافة طولها نحو ١٥٠ ميلاً. ويتألف هذا الحاجز الكبير من حواجز ثانوية مختلفة الأشكال والحجم وتشغل معظم الرفرف القاري لساحل كوينزلاند. وتبعد الحواجز الحديثة في شمال الحاجز عن ساحل كوينزلاند بنحو ٣٠ ميلاً ، إلا أن الحاجز يقترب من الساحل كلما اتجهنا صوب الجنوب حيث يبتعد الحاجز الحدي عن خط الساحل أمام رأس ميلفيل Melville بنحو ٧ أميال فقط ، وتتلاشى أطراف الحاجز جنوباً عن دائرة عرض ٢٥ جنوباً إلى الشمال مباشرة من ماري برا Maryborough ولا يتألف الحاجز للمرجاني الاسترالي الكبير من حيوانات للمرجان الحفرية القديمة ، بل تنتشر لونه كذلك حواجز تتألف تماماً من الشعب المرجانية الحية ، ومن أشهر هذه الحواجز تلك المعروفة باسم حاجز أرينجرتون Arington أمام ساحل كوينزلاند (شكل ١٨٨).



شكل (١٨٨) مودفولرجية حاجز أرينجرتون - حاجز استراليا الكبير (لاحظ الكائنات المرجانية الحية فوق سطح الماء).

وقد رسم الباحثون لهذا الحاجز للرجاني الكبير قطاعات عرضية  
تلمصيلية توضح شكله العام والصخور التي يرتكز عليها، وتبين أن  
الحاجز يتألف من حواجز سدية تشغل مقدمات الارتفاع القاري وتمثل في  
نفس الوقت الأطراف الحدية للحاجز صوب البحر (١)، وكذلك مجموعات  
أخرى من الحواجز السدية في الشرق من ناحية وخط ساحل كوينزلاند  
في الغرب من ناحية أخرى (شكل ١٨٩).



شكل (١٨٩) قطاع تخطيطي للحاجز للرجاني الكبير بـشمال شرق استراليا



## الفصل الرابع عشر البحيرات

التعريف العلمى للبحيرات يدل على المسطحات المائية التى تحيط بها الأرض أو اليابس من جميع الجهات وتقع فوق أسطح القارات وفوق الجزر . ودراسة نشأة البحيرات وخصائص مياهها الطبيعية والكيميائية ، وتحديد مجموعات الكائنات الحية التى تعيش فيها هى موضوع علم جديد يعرف باسم « علم البحيرات » Lymnology (مشتق من اللغة اليونانية Limne ومعناها بحيرة) وهذا العلم هو أحد أفرع علوم الهيدرولوجيا .

وقد رجح الأستاذ فيلهيلب ليك P. Lake بأن المقعرات الصغيرة الحجم التى تتمثل فوق أجزاء سطح الأرض تعد بداية تكوين البحيرات إذا ما تجمعت فيها المياه السطحية . ويقاء البحيرة أو عدمه يحدده العلاقة بين كمية المياه المكتسبة عن طريق التساقط ومياه الأمطار وانصهار الثلج وتجمعها فى المقعرات السطحية وكمية المياه التى تفقدتها هذه المقعرات المائية عن طريق التبخر والتسرب داخل الصخور .

وإذا كانت المقعرات السطحية صغيرة الحجم فتتكون البرك الصغيرة Pools أما إذا غطت المياه المتجمعة فى المنخفضات مسطحات واسعة تتكون بحيرات كبيرة الحجم Lakes وقد يطلق عليها أحياناً تعبير « بحار Seas » وتتميز سواحل البحيرات وأبعادها بتغيرها من فصل إلى آخر ومن عام إلى آخر تبعاً لظروف المناخ السائد فى منطقة البحيرة وتنوع مصادر مياه البحيرة ومقدار فقدان البحيرة لبعض مياهها . ومعظم بحيرات العالم تتغير سواحلها من فصل إلى آخر تبعاً لتعرضها لفعل التبخر، حيث تزداد مساحتها إبان فصل التساقط أو انصهار مياه الثلج المتجمعة فيها، وتنكمش أبعادها خلال فصل الجفاف . وزيادة مساحة البحيرة أو انكماشها وتنوع الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياهها إن دل على شئ فإما يدل على مدى تغير الظروف المناخية للإقليم الذى تقع فيه البحيرة . وعلى ذلك فإن دراسة الرواسب البحيرية Lacustrine deposits التى قد تتبقى فوق

المدرجات البحرية والشواطئ البحرية القديمة تعد من الدراسات الهامة في علم الجيومورفولوجيا حيث إنها الأداة المباشرة لمعرفة التغيرات المناخية القديمة في المنطقة وأسباب تذبذب مستوى سطح البحيرة ومراحل هذا التذبذب خلال العصور الجيولوجية المختلفة.

وقد تساهم المياه الجوفية في تكوين بعض البحيرات وذلك عندما تنبت تلك المياه من الطبقات الحاملة لها وتجد طريقها نحو المنخفضات البحرية، كما قد تتجمع مياه بعض الينابيع، والنافورات الحارة في برك وبحيرات على سطح الأرض. وعلى ذلك نلاحظ انتشار بعض البحيرات الدائمة في المناطق المدارية الحارة الجافة (حيث إن المياه المكتسبة من التساقط والأنهار أقل بكثير من تلك المفقودة عن طريق التبخر والتسرب) لأنها تستمد مياهها من طبقات حاوية للمياه الجوفية وإن مصادر مياه الأخيرة Catchment areas تقع خارج النطاق الصحراوي ولا ترتبط بالظروف المناخية المحلية لإقليم البحيرة نفسه.

وقد ينجم عن انغماس البحر للأراضي المجاورة له تكوين بعض البحيرات الشاطئية التي تنفصل تماماً عن البحر المجاور عن طريق الحواجز والألسنة الإرسابية. وعند بداية تكوين هذه المجموعة من البحيرات تكون جميعها ذات مياه ملحية، ولكن تتغير الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه بعض هذه البحيرات بعد ذلك، تبعاً للظروف المناخية والمورفولوجية العامة للإقليم الذي تقع فيه البحيرات الساحلية<sup>(١)</sup>.

وتغطي المسطحات البحرية مساحة تقدر بنحو ١,٨ ٪ من جملة مساحة سطح الأرض، ويلاحظ بأن البحيرات تختلف فيما بينها من حيث الشكل والمساحة. فبينما لا يزيد مساحة بعض كل منها عن ٢ كم<sup>٢</sup> فإن بعضها الآخر قد تزيد مساحة كل منها عدة آلاف من الكيلو مترات المربعة. كما تختلف البحيرات فيما بينها كذلك من حيث أعماقها، وعلى سبيل المثال نلاحظ متوسط عمق بحيرة التون Elton نحو ٠,٨ متر بينما متوسط عمق بحيرة بيكال نحو ١٧٤٢ متر. ومن ثم يطلق العامة على

البحيرات الواسعة المساحة والكبيرة العمق اسم « بحار » مثل بحر قزوين،  
وبحر آرال، والبحر الميت . ويوضح الجدول الآتي بيان ببعض البحيرات  
ومساحة كل منها ومنسوبها بالنسبة لمستوى سطح البحر وأعماقها (٢)

البحيرات	مساحة (١٠٠٠ كم <sup>٢</sup> )	مستوى سطح البحر (م)	أكبر عمق لها (م)
في الاتحاد السوفيتي:			
قزوين	٣٩٥,٠	٢٨-	٩٨٠
آرال	٦٥,٠	٥٣	٦٨
بيكال	٣٠,٥	٤٥٥	١٧٤١
لاديجا	٢٧,٧	٤	٢٢٥
بلكاي	١٧,٤	٣٣٩	٢٦
لونها	٩,٦	٣٣	١١
ابيس - كول	٦,١	١٦٠٩	٧٠٢
سيفان	١,٤	١٩١٤	٩٩
المين	٢,٢		٩
تلشكوبا	٢		٣٢٥
التون	١		٨
في مناطق أخرى:			
جنيف - أوروبا	١,٦	٣٧٦	٣٠٩
كوكورن - آسيا	٤,٢	٣٢٠٥	٢٨
فيكتوريا - أفريقيا	٦٩,٤	١١٣٤	٨٠
تاجانيقا - أفريقيا	٢٢,٩	٧٧٣	١٤٣٥
سويديور - أمريكا الشمالية	٨٢,٤	١٨٣	٢٩٣
مينشجان - أمريكا الشمالية	٥٨,٠	١٧٧	٢٨١
ليري - أمريكا الشمالية	٢٥,٧١	١٧٤	٦٤
أونتاريو - أمريكا الشمالية	١٩,٥	٧٥	٢٣٧

وتعد دراسة البحيرات ذات أهمية كبيرة فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة ، فدراسة المدرجات البحرية ومعرفة مجموعة بقايا الكائنات العفوية فوقها تثل على مراحل تغير أبعاد المسطحات البحرية خلال العصور الجيولوجية المختلفة، ويمكن للباحث أن يدرك أسباب تغير مستوى سطح البحيرة والتغيرات المناخية التى طرأت على المنطقة خلال المراحل الزمنية المتعاقبة.

ومن بين الدراسات فى هذا الموضوع الأبحاث تلك التى أجريت على بحيرة قارون بمنخفض الفيوم بجمهورية مصر العربية. والدراسات الجيومورفولوجية للبحيرات ومعرفة الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياهها تساعد على استغلالها اقتصادياً من حيث عمليات صيد الأسماك وتعدد انساب مواسم الصيد فى كل من البحيرات المختلفة، هذا إلى جانب استغلال الأملاح والرواسب المعدنية المتجمعة فوق أرضية بعض البحيرات واستغلال الكبير الحجم منها فى عمليات النقل البحرى وإقامة الثغور والموانئ البحرية كما هو الحال بالنسبة للبحيرات الأمريكية العظمى (إيرى و اونتاريو و هودن و متشجان و سوبيريور).

وقد اختلفت الآراء فيما يتعلق بتقسيم البحيرات إلى مجموعات مختلفة، ذلك لأن البحيرة تتشكل بعدة عوامل متناخلة ولا تعزى نشأتها إلى عامل واحد فقط هذا إلى جانب تغير الخصائص المورفولوجية والطبيعية والكيميائية للبحيرة من فترة إلى أخرى تبعاً للظروف المناخية للمنطقة التى تقع فيها البحيرة. ومن بين أظهر التقاسيم لمجموعات البحيرات تلك التى رجحها كل من كوليه (١) Collett فى عام ١٩٢٥، وفيليب ليك (٢) P. Lake فى عام ١٩٥٨ وپروفكين وپوجوسلوفسكى (٣) Bogoslovsky, B Pervukhin, M, and ويمكن أن نلخص هذه التقاسيم فيما يلى:

---

1) Collet, L. W " Les Les Lacs, " Paris 1925.

2) Lake P. " Physical geography " Cambridge, (1958), 376-384

3) Pervukhin and Bogoslovsky in Physical Geology by G. Gorskho, Moscow (1987), 317-335.

ولاً؛ اعتمد كويليه عند تقسيمه البحيرات إلى مجموعات مختلفة على أساس اختلاف نشأة البحيرات وميز المجموعات الآتية:

- ١- بحيرات تكونت بفعل التعرية.
- ٢- بحيرات تكونت فوق الرواسب الجليدية.
- ٣- بحيرات تكونت بالرواسب السدودية أو الحاجزية.
- ٤ - بحيرات الفوهات البركانية.
- ٥ - بحيرات صدعية وتكتونية النشأة.
- ٦- بحيرات الكارست الجيرية.
- ٧- بحيرات تتكون من مصادر المياه الجوفية.

ويشبه هذا التقسيم السابق مع تقسيم بروفكين ويوجوسلويفسكى للبحيرات حيث صنف هذان الباحثان البحيرات إلى مجموعات مختلفة تبعاً لاختلاف ظروف تكوينها ونشأتها . وقد ميزا عشر مجموعات من البحيرات تتلخص فيما يلي:

#### ١- بحيرات تكتونية النشأة:

ويقصد بها البحيرات الصدعية وتلك التي تتكون في الشقوق المقعرة وتنتمي بحيرات بيكال ، وتلتسكوى ، وجنيف وسيفان إلى هذه المجموعة.

#### ٢- بحيرات الثورات البركانية: وتنقسم إلى:

- أ- بحيرات الفوهات البركانية.
- ب- بحيرات تتكون داخل المقعرات اللافية بعد بروتها وامتلائها بالمياه السطحية.
- ج- بحيرات تتكون عند انحسار مياه الأنهار واحتجازها خلف الحواجز والمسهورات اللافية.
- ٣- بحيرات جليدية:

وتضم البحيرات التي تتكون بفعل الجليد كعامل نحت وكمعامل إرساب.

#### ٤- بحيرات نهريّة:

وتشمل البحيرات التي تتكون بفعل الحواجز والسدود الفيضية لبعض المجارى النهرية، والبحيرات المتقطعة من مجارى الأنهار.

#### ٥ - بحيرات الدلتاوات:

ويقصد بها البحيرات النهرية التي تتكون فى بعض أفرع الدلتاوات إذا ما تعرضت فتحاتها للانسداد بفعل الرواسب.

#### ٦- بحيرات ساحلية:

ويقصد بها مجموعة البحيرات والمستنقعات السبخية البحرية التي تتكون نتيجة لانغمار البحر الأراضى المجاورة له ، مثل بعض بحيرات الساحل الجنوبي لبحر البلطيق، والبحيرات المصرية الواقعة بجوار الساحل الشمالى لمصر.

#### ٧- بحيرات انخفاضية:

ويقصد بها مجموعات البحيرات التي تتكون بفعل عمليات هبوط الأرض أو انهيار أسقف الدولينات ومقمرات الحفر الفائرة فى مناطق الكارست الجيرية.

#### ٨- بحيرات انخفاضية فى مناطق الاستبس:

وقد ميز بروفيكين وبوجوسكوفيسكى هذه المجموعة من البحيرات عن المجموعة السابقة، حيث أن ظروف تكويناتها لا تتأثر بعمليات الذوبان الجبرى.

#### ٩- بحيرات تكوّنت بفعل رواسب الانهيارات :

ويقصد بها مجموعات البحيرات التي تتكون تبعاً لانسداد بعض المجارى بالرواسب وتجمعها على شكل سدوداً أو حواجز فى مجارى

الأنهار، ومن ثم تتجمع خلفها المياه النهرية على شكل بحيرات دائمة أو مؤقتة.

#### ١٠. بحيرات تكونت بفعل الرياح كعامل تعرية :

حيث أوضح هذان الباحثان بأن الرياح المحملة بالرمال والتي يشتد تأثيرها في المناطق الحارة الجافة، لها القدرة على حفر وتعميق المنخفضات في سطح الأرض وخاصة في المناطق الضعيفة جيولوجياً، وإذا ما توفرت مصادر المياه سواء أكانت السطحية أو الجوفية قد تتكون البحيرات.

أما الأستاذ فيلهب ليك P Lake فلقد قسم البحيرات إلى مجموعات مختلفة بحسب اختلاف العوامل الخارجية والقوى الداخلية الكبرى التي شكلتها وأدت إلى تكوينها . ويتلخص تقسيمه فيما يلي

#### أولاً - بحيرات تتكون بفعل الإرساب : Lakes due to deposition

- ١- بفعل الرواسب البحرية.
- ٢- بفعل الرواسب الفيضية.
- ٣- بفعل مفتحات المخروطات الإرسابية.
- ٤- بفعل رواسب الأراضي المنزلة.
- ٥- بفعل الرواسب الجليدية.
- ٦- بفعل رواسب المصهورات البركانية.
- ٧- بفعل الرواسب العضوية.

#### ثانياً - بحيرات تتكون بفعل التعرية والتجوية الكيميائية :

#### Lakes due to erosion and chemical weathering

وتشمل بحيرات :

- ١ - بفعل الرياح كعامل نحت .
- ٢- بفعل الجليد كعامل نحت .

٣- بفعل الثورات البركانية.

٤- بفعل الإنابة في الصخور الجيرية.

ثالثاً - بحيرات تتكون بفعل الحركات التكتونية:

Lakes due to tectonic earth movements.

وبعد هذا التقسيم الأخير أكثر التقاسيم شيوعاً في الوقت الحاضر كما أنه يعد جامعاً شاملاً لاختلاف المجموعات المتعددة من البحيرات ومن ثم سندرس الخصائص المورفولوجية العامة للبحيرات، وفقاً لتقسيم الأستاذ فيليب ليك P. Lake

أولاً: بحيرات تتكون بفعل الإرساب

تنتشر الغطاءات الإرسابية المختلفة فوق سطح الأرض على شكل غطاءات موجية الشكل تنتشر فيها المندبات والمقعرات السطحية وعند سقوط الأمطار تتجمع المياه الجارية داخل هذه المقعرات أو التجويفات الإرسابية وتتكون البرك Pools والبحيرات Lakes . وفي بعض الأحيان الأخرى قد تتجمع الإرسابات على شكل سدود أو حواجز طبيعية تمتد على المجاري النهرية الصغيرة الحجم وتتجمع خلفها مياه الأنهار على شكل بحيرات دائمة أو مؤقتة، ومن ثم تشبه الرواسب الحاجزية في هذه الحالة بحواجز السدود والخزانات الاصطناعية، مثل بحيرة ناصر خلف السد العالي جنوب أسوان. وتختلف حجم وأبعاد البحيرات التي تتكون خلف الحواجز الإرسابية تبعاً لحجم المياه المتجمعة وارتفاع الحواجز الإرسابية والمظهر التضاريسي المحلي لمنطقة البحيرة. ويجب ألا ننسى كذلك بأن خصائص التسيج الصخري للحواجز الإرسابية يؤثر في حجم وشكل البحيرات التي قد تقع خلفه. فإذا كانت التكوينات الإرسابية الحاجزية أو الاعتراضية تتألف أساساً من مفتتات بها كثير من المسام ويفصل بينها الكثير من الشقوق والفتحات وال فراغات الصخرية، فإن كل ذلك يساعد على تسرب كميات كبيرة من مياه البحيرة التي تقع خلفها. أما الحواجز

الإرسابية ذات المواد غير المتماسكة غير المسامية فإنها تقلل من عملية تسرب مياه البحيرة وتدني كمية المياه المفقودة التي تقتصر في هذه الحالة على تلك المفقودة طريق التبخر ونسبة محدودة منها عن طريق التسرب داخل تكوينات الصخور السفلية التي تمثل قاعدة أو قاع البحيرة. وتتخلص مجموعات البحيرات التي تتكون عن طريق فعل الإرساب فيما يلي:

#### ١. بحيرات تتكون بفعل الرواسب البحرية:

أكدت الدراسات الجيولوجية أن البحر تعرض ووجه خاص خلال عصر البلايوسين إلى تغير في منسوب سطح مياهه أدى إلى ارتفاعه تارة و انخفاضه تارة أخرى عن مستواه الحالي، ونتج عن ذلك تقدم البحر أو تراجع عن الأرض المجاورة . وعند انغمار البحر للأرض المجاورة له تبعاً لارتفاع منسوبه ثم عند تراجع مرة ثانية يترك السنة من الرواسب على شكل تلال إرسابية كثيراً ما تكون موازية لخط الساحل وعندما تحجز التلال الإرسابية مسطحات مائية من البحر القديم خلفها تتكون مايعرف بالبحيرات الساحلية. وقد يتكون بجوار ساحل البحر عدة مجموعات من البحيرات تمثل بنورها مراحل تقدم البحر عن الأرض المجاورة تبعاً لتغير منسوبه ويفصل بين كل مجموعة منها تلال عرضية موازية لخط الساحل. وعلى ذلك تتميز المنطقة الشاطئية في هذه الحالة بتكوين مجموعات متجاورة ومتوازية من التلال العرضية والأحواض الموازية لها والتي تتمثل فيها بعض البحيرات المتخلفة عن تراجع البحر القديم . وقد تتصل هذه البحيرات بالبحر عن طريق فتحات صغيرة تشق طبيعياً في مناطق الضعف الجيولوجي في رواسب التلال والكثبان الساحلية وقد يكون بعضها الآخر منفصلاً تماماً عن البحر، وهذه الأخيرة إذا لم تكتسب مياه جديدة بفعل التساقط أو الأنهار قد تنكمش مساحتها وقد تتعرض للزوال نهائياً. وعند بداية تكوين هذه البحيرات الساحلية تتميز مياهها بملوحتها، ولكن إذا تكونت البحيرات في منطقة ذات أمطار غزيرة وأن المياه التي تكتسبها البحيرات عن طريق التساقط أو الأنهار التي تصب فيها

أكبر حجماً من المياه المفقودة عن طريق التبخر والتسرب ، فإن نسبة ملوحة مياهها تنخفض وقد تتحول في النهاية إلى بحيرات عذبة. ويلاحظ أن نسبة المياه المتسربة لدخل هذه الصخور من مثل هذه البحيرات تعد قليلة جداً حيث تساعد المواد الجيرية والسييلية وبعض الأعشاب البحرية على تماسك رواسب قاع البحيرة وتكون فيها أرضية غير مسامية تعد من عملية تسرب المياه .

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات الساحلية تلك التي تتمثل على طول الساحل الهولندي في منطقة أرض جاسكوني Lands of Gascony

والبحيرات الساحلية الواقعة خلف سلاسل الكتبان الساحلية على طول ساحل نورفك في إنجلترا، وبعض البحيرات الساحلية للساحل الجنوبي لبحر البلطيق في ألمانيا وتتميز مياه بعض البحيرات الساحلية هنا بأنها عذبة وتعرف باسم Haffes وبعضها الآخر من مياه ملحة وتعرف باسم Arcachon .

وتتنمى بحيرة إنكو وبحيرة مريوط بساحل مصر الشمالي لهذه المجموعة من البحيرات حيث تنفصل عن البحر المجاور عن طريق سلاسل عرضية من الكتبان الساحلية وتقع البحيرتان في منخفضات عرضية تمتد كلها موازية لضط الساحل الحالي وإن دلت رواسب الكتبان الساحلية، والبحيرات الساحلية المختلفة على شيء فإنما تدل على التغيرات التي طرأت على مستوى سطح البحر خلال النصف الأخير من عصر البلايوسين.

## ٢. بحيرات تتكون بفعل الرواسب الفيضية:

تنشأ البحيرات التي تتكون في الأحواض النهرية وفي منطقة الرواسب الفيضية للنهر من حيث النشأة. ومن أكثر هذه البحيرات النهرية شيوعاً تلك المعروفة بالبحيرات المقطعة Ox bow lakes والبحيرات الطباقية الشكل Soucer lakes وبحيرة الدالات Delta lakes وبحيرات السيول على جانبي النهر الرئيسي.

وقد سبقت الإشارة من قبل الحديث عن نشأة البحيرات المقتطعة في القسم الأدنى من حوض النهر حيث ينحدر النهر في الجوانب المقعرة من منعطفاته ومنحنياته بينما يرسب في الجوانب المحدبة، ومن ثم يشيع تكوين الحلقات النهرية وتقترب أجزاء العنق النهرى ، ويتوالى عمليات النحت والإرساب تنفصل الانحناءات أو المنعطفات النهرية وتظهر شكل بحيرة هلالية الشكل مقطعة من النهر، بينما يتميز الأخير باستقامة مجراه من جديد. وتختلف البحيرات المقتطعة فيما بينها من حيث الحجم والأبعاد ، وتتميز جميعها بضحولتها، وأنها معرضة للزوال بعد مدة محدودة من الزمن . ويعد النسيج الصخري للرواسب الفيضية ومدى مساميتها، والمناخ المحلي لمنطقة البحيرات المقتطعة من بين أهم العوامل التي تؤثر في فترة بقاء أو عدم بقاء البحيرات المقتطعة في السهل الفيضي للنهر. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التي تتكون في الأجزاء الدنيا من أنهار الهروادي وسالوين وميكنج ويانجتسى وسكيانج والأمزون ، والميسيسي ونهر النيل.

وعند حدوث الفيضانات النهرية وانتشار الرواسب الطينية وتكوين الجسور الطبقية وخاصة في الأجزاء الدنيا من الوادي النهرى يغطي سطح الأرض بمرشاة هائلة من الرواسب الطينية وتتميز الأخيرة هي الأخرى بكونها مموجة السطح. وعلى ذلك قد تتجمع بعض مياه النهر في الأجزاء المقعرة الواقعة فيما بين الجسور الطبيعية الحالية وتظهر شكل برك وبحيرات صغيرة الحجم عذبة المياه ، وتتخذ معظمها شكل الأطباق  
Saucer-like from

وعند انقضاء الدلتاوات النهرية الكبيرة الحجم قد تتكون مجموعة ثالثة من البحيرات . وهذه الأخيرة تعزى نشأتها إلى كثرة تفرع النهر عند دلتاه وذلك عندما لا يتمكن المجرى النهرى من أن يحمل كل رواسبه ليقذفها في البحر الذي يصب فيه. ويتفرع النهر إلى فروع branches تساعد على عمليات التصريف النهري لرواسب ومياه النهر وتتجمع الرواسب الفيضية في المنصب الضحل وتتكون الرواسب الأمامية للدلتا وتتراكم فوق أرضية

البحر الذى يصب فيه النهر، ويمرور الوقت يزداد تراكم هذه الرواسب، وتتماقب فرشاة بعضها فوق البعض الآخر، ثم تظهر على سطح الأرض على شكل جسور إرسابية تقع فيما بين مضارج الفروع النهرية. وعند حدوث الفيضان النهري وارتفاع منسوب مياه نهر تحجز بعض مياه النهر وراء هذه الجسور الإرسابية وتنفصل عن كل من النهر والبحر المجاور له . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تشاهد عند الأطراف الشمالية لدلتا نهر الميسسى ودلتا نهر ميكونج.

وقد تتكون بعض البحيرات النهرية على جانبي مجرى النهر الرئيسى إذا ما كان يصب فى هذا النهر أودية نهريّة جبلية مطلقة أو سيول جارفة تعمل معها كميات كبيرة من المقتتات الإرسابية إبان مواسم فيضاناتها . وعندما يقترب السيل أو النهري الجبلى من منطقة إلتقائه بالنهر الرئيسى قد يفقد سرعته ، ويضعف تياره تبعاً لقلة الانحدار وبعده عن منطقة منابعه، ومن ثم يلقى النهر بما يحمله من رواسب بصورة فجائية على شكل تراكيمات من المقتتات الإرسابية وقد تتخذ أحياناً صورة الدالات الصغيرة الحجم والدالات المزبوجة. وقد تعمل بعض هذه الدالات الاعتراضية الجانبية الجديدة على حجز بعض مياه النهر الرئيسى خلفها على شكل بحيرات. وتعد بحيرة ستاي هينتان Sty Heed Tarn فى منطقة يارموث وبعض البحيرات الصغيرة فى حوضى نهر أنت Ant ونهر بور Bure فى منطقة نورفك بإنجلترا من بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات.

### ٣. بحيرات تتكون بفعل مقتتات المخروطات الإرسابية : Screens

عندما تتعرض أعالي الحافات الصخرية التى تشرف على مجارى أنهار ما لفعل عوامل التجوية الطبيعية والتعرية ، تتفتت الصخور، ثم تنقل من مواضعها بأعلى الحافات إلى ما تحت أقدامها بفعل عمليات الزحف أو التساقط أو الإنسياب، وتتراكم على شكل أهرامات أو مخروطات من المقتتات الإرسابية . ويزداد حجم هذه المخروطات الإرسابية الأخيرة بزيادة

المواد الإرسابية المنقولة من أعالي الحافات الصخرية . وإذا تصادف تكوين مثل هذه المخروطات الإرسابية في طريق مجرى نهرى ما واعترضت اتجاه هذا النهر، فإنها تقوم بعمل ما تقوم به السدود الاصطناعية، ويضطر النهر في هذه الحالة إلى تغيير مجراه بينما تنحبس أو تصجز بعض مياهه خلف رواسب المخروطات الإرسابية على شكل بحيرات قد تكون دائمة أو مؤقتة. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات ، هارد تارن Hard Tarn علي نهر هيلفين Helvilyn ، وبحيرة إيفانزون فرش Efyynnnon Frech في منطقة جبل سنون بويلز بالمملكة المتحدة.

٤ - بحيرات تتكون بفعل رواسب الأراضى المنزلة:

#### Lakes Within the landslip deposits

تحدث عمليات الإنزلاق الأرضى في مناطق الصخور غير المتجانسة وخاصة بالمناطق الرطبة وعندما تتعاقب صخور صلبة عالية المسامية، كثيرة الشقوق، فوق صخور طينية غير مسامية. وتساعد الشقوق والمياه الجوفية التى تتجمع فوق الطبقة الطينية غير المسامية على تكوين مناطق ضعف جيولوجى فى التكوينات الصخرية. وقد تنزلق أجزاء من الحافات الصخرية من أعلى إلى أسفل وتظهر تحت الأقدام الحافات الصخرية على شكل تلال وحواجز إرسابية منزلة. وإذا تصادف حدوث هذه الانزلاقات الأرضية فى مناطق غزيرة الأمطار والتساقط، فقد تتجمع المياه السطحية والثلج فى الأحواض المقعرة التى تقع فيما بين التلال والحواجز الإرسابية المنزلة على شكل برك ومستنقعات صغيرة الحجم. ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتكون فى الأراضى المنزلة بحوض نهر البن Don Basin و بحيرة وايت فى المملكة المتحدة، وبحيرات دى برنتس Brenets فى حوض نهر دوب Doubs .

وقد تعمل الرواسب المنزلفة فى مناطق الانزلاقات الأرضية على سد بعض أجزاء من المجارى النهرية التى تعترض طريقها، (كما هو الحال بالنسبة لمفتحات المخروطات الإرسابية التى تعترض مجرى النهر) ويؤدى ذلك إلى تكوين بحيرات كبيرة الحجم نسبياً . ومن أظهر أمثلة هذه المجموعة الأخيرة من البحيرات تلك التى تتكون فى بعض أجزاء من أعالي الروافد العليا لنهر السند.

#### ٥. بحيرات تتكون بفعل الرواسب الجليدية:

تمثل البحيرات التى تتكون بفعل الرواسب الجليدية أكثر أنواع البحيرات شيوعاً فوق سطح الأرض، وفى بعض الدول مثل فنلندة قد تمثل هذه البحيرات أكثر من نصف جملة مساحة البلاد . ولا يقتصر تأثير هذه المجموعة من البحيرات فى كل من النصف الشمالى من أوروبا وبمطقة البحيرات الأمريكية العظمى فى المظهر للمورفولوجى العام لسطح الأرض بل تلعب البحيرات دوراً هاماً فى التطور الاقتصادى وطرق النقل ومواقع المراكز العمرانية فى الأقاليم التى تتمثل فيها . وهناك مجموعات مختلفة من البحيرات تنتمى إلى هذه المجموعة يمكن أن نلخصها فى الآتى

أ . بحيرات الركامات الجليدية حيث اكدت الدراسات الجيولوجية أن النصف الشمالى من أوروبا وكذلك النصف الشمالى من قارة أمريكا الشمالية قد غطيا بالركامات والرواسب الجليدية الأخرى وأدى هذا إلى تشكيل سطح الأرض بفراشات واسعة الامتداد كبيرة السمك من هذه الرواسب ويتميز سطحها بتموجه وكثرة المقعرات السطحية الممتلئة فيه وحيث تقع اليوم معظم هذه الفراشات الإرسابية الجليدية فى مناطق غزيرة الأمطار وأن المكتسب من المياه السطحية المتجمعة فى المقعرات أكبر من المياه المفقودة بالبخر، فيسود تكوين البرك Pools والبحيرات (شكل ١٩٠) وكثيراً ما تتميز مناطق الكثبان الجليدية drumlin بتكوين مثل هذه البحيرات فى مناطق للمقعرات الواقعة بين تلال الرواسب الجليدية . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتمثل فى الأجزاء الجنوبية

من منطقة ليك ديستريكت Lake District في المملكة المتحدة، وبعض البحيرات في القسم الشمالي من ألمانيا الغربية، وبحيرات أتاباسكا.



شكل (١٩٠) بحيرات الركامات الجليدية

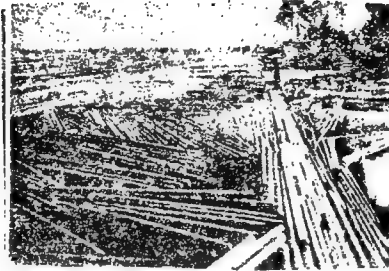
وجريت بير، وجريت سليف، ووينديج في أمريكا الشمالية. وحتى البحيرات الخمس العظمى في أمريكا الشمالية (ايري و أونتاريو وهورن و متشيجان وسوبيريور) على الرغم من أنها تأثرت ببعض حركات الرفع التكتونية إلا أنها تكونت أساساً في نخل تكوينات رواسب الطفل الجليدي وملفتات الركامات الجليدية البلايوستوسينية.

ب - بحيرات مقدمات الركامات الجليدية: تتكون هذه المجموعة من البحيرات عند مقدمة الركامات الجليدية ومقدمات الشلاجات Snouts فعندما يتراجع الجليد إلى الوراء خلال الفترات الباردة نسبياً يترك أمامه جسوراً وحواجزاً إرسابية ركامية ترتفع فوق منسوب سطح الأرض المجاورة. ومن ثم تتجمع بعض المياه المذابة من الجليد فيما بين الجليد نفسه من جهة والرواسب الجليدية من جهة أخرى على شكل بحيرات هامشية . وتتخذ معظم هذه البحيرات الشكل شبه الدائري حيث إن أول ما يؤثر في تجمع المياه في هذه الحالة هو وجود الحفر والمقعرات في سطح الأرض. وإذا ارتفع منسوب المياه المذابة في هذه الحفر البحرية تنساب

المياه منها وتعلو فوق الرواسب الحاجزية ورواسب الركامات الجليدية على شكل مخارج ومصارف نهريـة Over flow channel ومثل هذا النوع من البحيرات يكاد يتمثل على طول كل الركامات النهائية فى وسط أوربا وشمالها، ومنطقة البحيرات الأمريكية العظمى . وتعد بحيرة بليوتر تكون Bleawater tarn فى منطقة «ليك نيستريكت» بالمملكة المتحدة من بين هذه المجموعة وكذلك بحيرة مارجلينيس Margelness عند الأطراف النهائية لثلاجة التش Altetsh، وبحيرة ماتمارك Mattmark عند الأطراف النهائية لثلاجة الالين Allalin Glacier بمرتفعات الألب

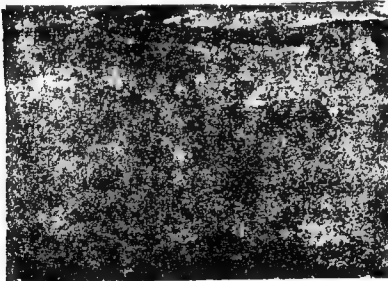
وعند مقدمات الغطاءات الجليدية قد يتجمع الجليد فى مناطق ضعيفة جيولوجياً، وعن طريق نحت الجليد لهذه التكوينات تتعمق الأرض وتتكون بحيرات عميقة نسبياً وكثيراً ما تحاط بصخور عالية أشد صلابة وتظهر هذه البحيرات على شكل نطاق يمتد مع ذلك الحد الهامشى الذى يفصل بين الكتل الأركية القديمة فى أوراسيا وأمريكا الشمالية والتي غطيت بالجليد وبين الأراضي التى تقع إلى الجنوب منها. ويطلق على هذا الحد تعبير «Glint - line» ومن ثم عرفت مجموعة البحيرات التى تقع فى نطاق هذا الحد باسم بحيرات جلينت Glint lakes . وتعد البحيرات العظمى الأمريكية أمثلة جيدة لهذه المجموعة من البحيرات (شكل ١٩١)، (وشكل ١٩٢).

جـ - وقد تتكون البحيرات الجليدية كذلك عندما تعترض ثلاجة لنهر مائى سطحى. وينجم عن ذلك أن يغير النهر مجراه ويسير موازياً ومجاوراً لأحد جوانب الثلاجة، وعند نقطة انحناء النهر واصطدامه بالثلاجة قد يكون بحيرة عميقة، يطلق عليها اسم البحيرات الجليدية السدية Ice-damed lakes و قد تساعد الظروف المورفولوجية والمناخية على زيادة منسوب مياه البحيرات بالتدريج وهذا يؤدى بدوره إلى انقمار مزيد من جوانب النهر التى تغطى بمياه البحيرة. ولكن عند انصهار الجليد أو الثلاجة الحاجزية، تنصرف مياه البحيرة عن طريق المخارج النهرية الجديدة أو عبر مجرى النهر القديم وتظهر بالتدريج المدرجات



شكل (١٩١) نموذج لبحيرات جليدية في فنلندا

البحيرية التي تمثل الشواطئ البحرية التي تكونت خلال مراحل ارتفاع منسوب المياه في البحيرة خلال المراحل المتعاقبة . ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات مارجلين سي Margelen See في منطقة نلاجة القش Aletsch في المرتفعات الألب في وسط أوروبا ، وبحيرات شمال شرق جبل بن نفيس في اسكتلندا.



شكل (١٩٢) نموذج للبحيرات في مناطق الغطاءات الجليدية.

## ٦- بحيرات فوهات المخروطات البركانية:

بعد انقضاء النشاط البركاني يستقر المخروط البركاني مؤقتاً وتعرض فوخته لفعل عوامل التعرية المختلفة ومن ثم يزداد اتساعها بالتدريج. وإذا ما تعرضت منطقة البركان الخامد للتساقط تتجمع المياه في فوهة البركان وتتكون بحيرات الفوهات البركانية Crater lakes. وأهم ما يميز هذه البحيرات زيادة تماسك المصهورات الالافية للكونة لجدران حجلات الالفا عند فوهة البركان. وإذا ارتفع منسوب المياه في بحيرة الفوهة البركانية، تنساب منها المياه عن طريق مخارج إشعاعية تنتشر على جوانب المخروط البركاني، وقد تنساب المياه المنصهرة من الثلج ومياه الأمطار نحو القسم الأوسط من البحيرة وحول جدرانها على شكل تصريف مائي مركزي Centripetal drainage.

ومن بين أمثلة بحيرات الفوهات البركانية بحيرات بولزانو Bolseno وفيكو Vieo وبرسيانو Bracciano حول منطقة روما، وبحيرة بافين Pa-vin في هضبة لاورن Auvergne، وبحيرة لاكرسي Laachersee ومار Maare في هضبة إيفل. وبحيرة أيدا Lace d'Aydat في منطقة كليرمو-فيراند Clermont-Ferrand في فرنسا.

## ٧. بحيرات تتكون بفعل الرواسب والتكوينات العضوية:

قد تؤدي تجمعات الرواسب النباتية والتكوينات العضوية (نباتية وحيوانية) إلى انسداد المجارى النهرية وتكوين البحيرات النهرية. وقد سبق الحديث عن تكوين بحيرات الجزر الحلقية المرجانية والتي ترجع نشأتها إلى انحصارها بين الحواجز المرجانية المكونة عن تجمع الشعاب المرجانية. وفي مناطق الغابات الكثيفة والمستنقعات السدودية قد ينسد مجرى النهر بواسطة الأشجار والأعشاب وقطع الأشجار الطافية ويؤدي ذلك إلى تكوين بحيرة غالباً ما تكون مؤقتة. وعندما تزداد سرعة النهر سرعان ما تنجراف الأغصان والأخشاب الطافية ويفتح النهر لنفسه طريقاً جديداً في داخل التجمعات العضوية وتنصرف بذلك مياه البحيرة المؤقتة. ومن بين أمثلة هذه البحيرات ما يتمثل في بعض مجارى أنهار شمال غرب كندا، وفي منطقة السند الغابية في حوض بحر الجبل وبحر الغزال بحوض النيل.

## ثانياً، بحيرات تتكون بفعل عوامل التعرية وعوامل التجوية الكيميائية

قد تعمل عوامل التعرية المختلفة على حفر وتعميق المنخفضات الصغيرة والكبيرة الحجم في سطح الأرض والتي قد تمثل بداية تكوين البحيرات، وتتلخص الحالات التي قد تتكون منها البحيرات عن طريق فعل عوامل للتعرية حسب دراسات الأستاذ فيليب ليك P.Lake في الآتي:

### ١- بحيرات تتكون بفعل الرياح كعامل تحت:

من المعروف أن فعل الرياح يشتد في المناطق الحارة الجافة حيث يندر أن يتغذى سطح الأرض بالغطاءات النباتية. وقد تستطيع الرياح المحملة بالرمال في مناطق الصخور اللينة والضعيفة جيولوجياً إزالة الفتحات الصغيرة عن طريق كشطها لأسطح الأرض Wind Abrasion . وتنقل الرياح الفتحات الإرسابية من مكان إلى آخر وتكون مقعرات في المناطق الضعيفة جيولوجياً من سطح الأرض. وتختلف مساحة هذه المقعرات من حفر صغيرة الحجم إلى لحواض واسعة الاتساع والعمق قد تشغل منخفضات صحراوية كبرى مثل منخفضات سيوة والفرافرة والبحرية والداخلية والخارجية في جمهورية مصر العربية. وعند سقوط أمطار فجائية أو تسرب مياه جوفية وتطورها عند سطح هذه المنخفضات تتكون البحيرات . وعلى الرغم من أن الفائت من المياه يعد كبيراً إلا أن هذه البحيرات احتفظت بنفسها واستطاعت البقاء عن طريق المياه المكتسبة من المياه الجوفية.

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من البحيرات تلك التي تتمثل في منخفض سيوة مثل بحيرات المراقى وخميسة وسيوة والزيتون والمعاصر وتمرة وأغوصي ومن جميعاً يقعن أسفل منسوب سطح البحر الحالي بحوالى ١٥ متراً وتعتمد مصادر مياههن على المياه الجوفية التي تتجمع في تلك المنخفضات البحرية. وتبعاً لقلة المياه المكتسبة بالنسبة للمياه المفقودة من البحيرات في الوقت الحاضر فإن مساحة كل من هذه

البحيرات أخذ في الانكماش التدريجى. وتشبه هذه المجموعة من البحيرات تلك التى تتمثل فى منخفض وادى النطرون التى تنتشر فيه بحيرات منها الفاسدة وأم ريشة وروذنها، وأبو جبارة وحمرا والزجم والبيضاض . ويرجع الباحثون أن المياه الجوفية المتسربة من مجرى نهر النيل للجوار لمنخفض وادى النطرون يعد مصدراً رئيسياً لمياه هذه البحيرات . ويلاحظ أنه من النادر تكوين مثل هذه البحيرات فى المناطق المعتدلة الباردة أو المناطق الغزيرة الأمطار فى العروض الإستوائية ذلك لأن سطح الأرض فى هذه الحالة مغطى بمرشحات كثيفة من الفطاطات النباتية التى تقلل من فعل الرياح كعامل نحت.

## ٢- بحيرات تتكون بفعل الجليد كعامل نحت :

أكد بعض الكتاب أن فعل الجليد كعامل نحت وأثره فى تكوين مقعرات محفورة فى الأرض يعد عاملاً ضعيفاً. ولكن مع ذلك لاحظ بعض آخر تكوين بحيرات جليدية فى مناطق صخرية شديدة الصلابة ولم يتأثر تكوينها بالحواجز الإرسابية والركامات الجليدية ، ومن بين هذه البحيرات بحيرة كوريزك فى جزر سكاي فى غرب اسكتلندا . وتتألف هذه البحيرة الأخيرة من بحيرتين توأمتين يفصل بينهما حاجز صخرى شديد الصلابة. ومن دراسة المنطقة جيومورفولوجيا تبين أن الوادى الذى تقع فيه تلك البحيرة كان وادياً لجرى نهر مائى ثم تشكل بالجليد. وعلى جانبيه الوادى كثير من الشواهد على التعرية الجليدية مثل الخدوش الجليدية فى الصخر الكتل الضخمة المنقولة Erratics وظهور الخراف أو الصخور الفنية Roche Moutonnee ومن ثم تجمع الجليد وانحسب داخل الوادى النهري القديم ، وعمل على زيادة تعميق بعض أجزاء الضيقة جيولوجياً، وعند انصهار الجليد امتلأت المقعرات المتعمقة بالمياه على شكل بحيرات داخل قاع النهر نفسه.

وهناك مجموعة ثانية من هذه المجموعة من البحيرات الجليدية تتكون فى مناطق الحلقات الجليدية Corries or Cirques التى تتعمق بالتدريج

بفعل النحت الجليدية وانصهار المياه nivations أسفل الجليد المتجمع في مقعرات الحلقات الجليدية. ومن ثم عند انصهار الجليد تتجمع بعض المياه على شكل بحيرات ضحلة صغيرة الحجم شبه دائرية الشكل في أعالي الشلاجات وفي داخل مناطق الحلقات الجليدية. ومن بين أمثلة هذه البحيرات (الوتر) Low water في منطقة البحيرات الإنجليزية ليك ديستريكت English Lake District (شكل ١٩٢)



( شكل ١٩٢ ) نموذج لبحيرات الحلقات الجليدية

أما المجموعة الثالثة من هذه البحيرات فقد تكون أسفل الحلقات الجليدية وفي القسمين العلوي والأوسط من الشلاجات أو الأنهار الجليدية - النهرية Pluvio - glacial Streams . ويعمل الجليد في هذه المناطق علي حفر وتعميق جزءاً من مجري النهر المائي القديم ، بفعل إنضغاط الجليد فوق بعضه البعض وإحتكاكه بقاع النهر . وعند انصهار الجليد وتكوين مجري نهر مائي من جديد ، قد ينحبس الجليد في التجويفات المقعرة للتمعقة علي طول أجزاء من مجري النهر ومن ثم تظهر بحيرات طويلة الشكل تمثل أجزاء من مجري النهر للمائي الحالي . وتكوين مثل هذه البحيرات في القسم الأعلى من النهر إن دل علي شيء فإنما يدل على

تكوينها بفعل الجليد ( حيث أن البحيرات النهرية هي من الظواهر التي تتمثل عادة في الأجزاء الدنيا من حوض النهر بفعل الإرساب وعندما تضعف التعرية الرأسية للنهر ويشهد فعل التعرية الجانبية ) . ومن بين أمثلة تلك المجموعة من البحيرات تلك المعروفة بإسم جاري Garry و رانوك Ranok وتلي Tay وإيرن Earn مرتفعات جراسميان باسكتلندا ، وبحيرات Idro وكومو Como ولوجانو Lugano ومجيوري Maggiori في مرتفعات الألب الإيطالية / السويسرية ، وبحيرات تورن Torn وسكالكا Skalka ونوجم Vojm وفولفو Vuolvo . وريسنس Rebnsses في النصف الشمالي من السويد .

### ٣- بحيرات تتكون بفعل الثورات البركانية :

بخلاف البحيرات التي تتكون في فوهات البراكين ميز فليوب ليك P.Lake مجموعة أخرى من البحيرات البركانية قد لا ترتبط بالمخروطات البركانية نفسها . ففي منطقة إيفل Eifel إبنيت المصهورات البركانية علي شكل مقعرات أشبه بشكل الأطباق . Soucer Like وتتجمع المياه هنا علي شكل بحيرات بركانية صغيرة الحجم لا ترتفع سوي بضعة أمتار فوق منسوب الأرض المجاورة . ويشيع مثل هذا النوع من بحيرات الثورات البركانية في المناطق البركانية الغزيرة الأمطار .

### ٤- بحيرات تتكون بفعل الإذابة في الصخور :

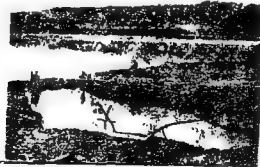
تظهر مثل هذه البحيرات في مناطق الكارست الجيرية حيث تعمل كل من المياه السطحية والمياه الجوفية علي إذابة كربونات الكالسيوم وقد ينجم عن ذلك تكوين حفر ومقعرات على سطح الأرض . وإذا ما ساعدت ظروف التصريف المائي السطحي على تجمع المياه فقد يؤدي ذلك إلى تكوين البحيرات الجيرية . وقد سبقت الإشارة من قبل ، إلى تعرض الصخور الجيرية لفعل الذوبان التدريجي المستمر وتكوين ظواهر عديدة من بينها بالوعات الإذابة Solution Sinks والحفر الغائرة ، والأحواض شبه الدائرية الشكل أو الدولينات Dolines وعند امتلاء هذه الحفر والأحواض بالمياه

تتكون البحيرات . وهناك أيضاً بالوعات تتكون بفعل انهيار أسقفها Col-lapsed الجيرية تبعاً لتعرضها المستمر لعمليات الذوبان التدريجي وفي ينجم عنها كذلك تكوين بحيرات جيرية . ومن بين أظهر مجموعة البحيرات الجيرية تلك التي تتمثل في مناطق متناثرة من إقليم الكارست اليوغوسلافى ، والمناطق الجيرية في يوكوتان ، وهضبة كوزيه الفرنسية وهضبة شاشير Cheshire بالمملكة المتحدة ، وبحيرتا سكوتارى Scutari واستيروفو Ostyovo بمرتفعات الألب في الصخور الجيرية .

### ثالثاً : بحيرات تتكون بفعل الحركات التكتونية :

تنشأ بعض البحيرات بفعل الحركات التكتونية . ففي مناطق الثنيات المعبدة والثنيات المقعرة التي لا تزال تؤثر في تشكيل سطح الأرض حيث تتمثل الأحواض السطحية في مناطق المقعرات والجبال في مناطق المرتفعات ( أى لم تحدث بعد تكوين مرحلة إنقلاب مظهر السطح بالنسبة للتركيب الصخرى Inversion of relief ) تتجمع المياه السطحية في المقعرات والمنخفضات التي تتمثل على سطح الأرض وتتكون البحيرات . ومن بين أمثلة هذه البحيرات تلك التي تتمثل في غرب جزيرة أيرلندا . وتقع هذه البحيرات في مناطق الثنيات المقعرة وكثيراً ما تمتد على نفس محاور خلجان الرياس ومن بين أظهر هذه المجموعة من البحيرات ، بحيرتا كوران Curran ومسترجهى Mastergeehy التي تقع على نفس محور خليج بالينسكيلجز Ballinskelligs في جنوب غرب أيرلندا وبحيرات فيا Feeagh في منطقة كاسيل بار Castlebar مع امتداد محور خليج كلو Clew Bay في غرب أيرلندا . وتتمثل نفس الصورة كذلك على طول الساحل الشمالى الغربى لاسكتلندا ومن بين البحيرات الهامة في هذه المنطقة بحيرات جلينكون Glencon وإنيت Assynt وإيرجين- Lurgin وبحيرة مارى Loch Maree . وتنتمى بحيرة جوفية Lac de Jovx في منطقة مرتفعات جورا إلى مجموعة البحيرات التي تتكون في الأحواض السطحية لمناطق الثنيات المقعرة لتكوينات الصخور السفلية .

إلا أن أهم البحيرات التكتونية هي تلك التي تتكون في مناطق الأغوار  
الصدعية وفي مناطق الأخاديد الصدعية الكبرى . فنتيجة لحدوث الصدوع  
الكبرى في هذه المناطق الأخيرة يهبط جزء من الأرض بفعل الصدوع  
وتتحد بين مناطق هضبية صدعية ( تعرف باسم هورست Horst )  
هائلة الارتفاع . وإذا ما تجمعت المياه السطحية في أجزاء من باطن الأغوار  
الصدعية تتكون البحيرات الصدعية وهذه الأخيرة تتميز بجوانبها  
الصدعية المرتفعة وامتدادها الطولي الممتد على طول محاور الصدوع ، كما  
أن الكثير منها قد يقع على منسوب أقل من مستوى سطح البحر الحالي  
. ومن بين هذه البحيرات الصدعية بحيرات بيكال في الاتحاد السوفيتي .  
ويؤتاه في الولايات المتحدة الأمريكية ونيس Loch Ness ولولوخ Loch  
Lochy وموهور Mhor في الوادي الأوسط الصدعي الاسكتلندي . ومن  
أظهر البحيرات الانكسارية أو الصدعية الكبرى تلك التي تتمثل في قاع  
أفوار الأخنود الأفريقي العظيم The Great African Rift Vally ويبدأ هذا  
الأخدود من منطقة جنوب نياسا Nyasa ، وتظهر هنا بحيرة نياسا ، وفي  
الفرع الغربي من الأخنود تتكون بحيرات ركو Rukwa وتنجانيقا-Tan  
ganyika وكيفو Kivu وإدوارد Edward وجورج George والبرت وتند  
بحيرات الفرع الشرقي للأخنود الأفريقي بصورة متقطعة ومتباعدة  
بالنسبة لتلك في الفرع الغربي ومن أظهر البحيرات هنا مكوي Ma-  
kuyni ومجادى Magady ونيفاشا Nivasha ورولف Rudolf والبحيرات  
الصدعية في هضبة الحبشة مثل بحيرتا أبايا Abaya ولانجانا Langana  
ويعد البحر الأحمر والبحر الميت وبحيرة طبرية من البحيرات الواقعة في  
مكملات الفرع الشرقي للأخنود الأفريقي العظيم ( شكل ١٩٤ )



شكل ( ١٩٤ ) بحيرة البحر الميت في قاع الأخنود الأفريقي العظيم

### الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات :

تختلف الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات تبعاً لظروف نشأتها والمناخ المحلي لإقليم كل بحيرة والعلاقة المتبادلة بين المياه التي تكتسبها البحيرة وتلك التي تفقدها ، هذا إلى جانب نوع الأملاح الذاتية في مياه البحيرة والرواسب المتجمعة فوق أرضيتها ، وتختلف درجة حرارة مياه البحيرات فيما بينها وهذا له اثره الواضح في اختلاف كثافة مياه البحيرة من ناحية وتشكيل الحياة النباتية والمضوية في البحيرة من ناحية أخرى . وقد ميز الأستاذ كوايه ثلاث مجموعات مختلفة من البحيرات على أساس اختلاف درجة حرارة مياهها . وتتلخص دراسته فيما يلي

١- بحيرات الإقليم المدارى Tropical Lakes حيث لا تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٥م في أى شهر من شهور السنة

٢- بحيرات الإقليم المعتدل Temperate Lakes حيث قد تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٥م في بعض الشهور في حين قد ترتفع عن ذلك خلال بعض الشهور الأخرى من السنة

٣- بحيرات الإقليم القطبى Polar Lakes حيث تنخفض درجة حرارة مياهها عن ٥م خلال أى شهر من شهور السنة

وتشكل الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات من فترة رمسية إلى أخرى تبعاً لظروف المناخ السائد . والتغيرات المورفولوجية التي تطرأ على منطقة البحيرة . وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض البحيرات المتقطعة من البحر مثل لا نوجا ، وأونيجا كانت مياهها ملحة عند بداية نشأتها ، ثم تغيرت الخصائص الكيميائية للمياه وأصبحت اليوم ذات مياه عذبة . ويرجع ذلك إلى كمية التساقط السنوى في إقليم هذه البحيرات وأن المياه التي تكتسبها البحيرات عن طريق التساقط والأنهار والمياه المنصهرة من الثلج التي تصب فيها أكبر بكثير من المياه التي تفقدها عن طريق البخر . في حين نجد أن بعض البحيرات الأخرى وخاصة تلك العروض المدارية قد تعتمد مصادر مياهها على المياه العذبة السطحية أو الجوفية ، ولكن عند

تجمعها في المنخفض البحري سرعان ما تصبح ملحة وترتفع فيها نسبة الاملاح والشوائب الأخرى - ويرجع ذلك إلى زيادة كمية المياه المفقودة عن طريق البخر بالنسبة لكمية المياه المكتسبة . ومن بين أمثلة هذه البحيرات الأخيرة تلك التي تتمثل في منخفض النطرون ، وبعض بحيرات منخفض سيوة في الصحراء الغربية من جمهورية مصر العربية وتختلف الأملاح الذائبة في مياه البحيرات فيما بينها تبعاً لظروف تكوين كل بحيرة ومورفولوجية للمنطقة التي تقع فيها . فتميز مياه بحيرات بيكال ولونيجا ولانوجا بارتفاع نسبة أملاح الصوديوم وحامض الكربونيك ومياه بحيرات التون وكوشوك بارتفاع نسبة كلوريد الصوديوم في حين ترتفع نسبة السلفات والكربونات في مياه بحيرة ايسوك كول Issyk-Kul وكاروبجاز Kara - Bogas . وقد أوضح ماكسموفيتش G.Maksimovich بأن التركيب الكيميائي العام لمياه البحيرات يتأثر بالظروف المناخية المحلية لإقليم البحيرة ، وقد وصل هذا الباحث إلى النتائج الآتية :

١- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم التندرا من حامض الكربونيك والسليكات .

٢- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الغابات المعتدلة من حامض الكربونيك والكالسيوم .

٣- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الاستبس من السلفات وحامض الكربونيك وكلوريد الصوديوم .

٤- تتركب أملاح مياه بحيرات إقليم الصحاري الحارة الجافة وشبه الصحاري من كلوريد الصوديوم ( ملح الطعام ) .

وعلى ذلك قد يستغل الإنسان بعض هذه البحيرات اقتصادياً حيث يستخرج منها أملاح هامة تدخل في صناعات متعددة . ففي الاتحاد السوفييتي تستغل تكوينات الصودا والكربونات من مياه بحيرات ميخائيلوفسكايا Michailoveskaya وكلوشيفسكايا Klyachevskaya في منطقة استبس كولوندا Kulunda بسيبيريا ، وكذلك من مياه بحيرة

دورنيو Doronino فى منطقة بيكال ومن بعض بحيرات إقليم ياكوت . أما تكوينات وأملاح السلفات فتستغل من مياه بحيرة كولوندا وبحيرة باتال باشينسك Batal Pashinsk فى إقليم القوقاز . أما كلوريد الصوديوم فيستخرج من بحيرات التون Elton وباسكونشاك Buskunchak وبحيرات إقليم بحر قزوين وشبه جزيرة القرم . ولا يقتصر لاختلاف مياه البحيرات على نوع الأملاح التى تتمثل فيها فقط بل كذلك فى نسبة الأملاح الذائبة فى هذه المياه . وعلى سبيل المثال نلاحظ أن نسبة الأملاح فى مياه بحيرة أونيجا تبلغ نحو ٣٠ ملجم / لتر بينما تصل إلى نحو ٢٦٠ ملجم / لتر فى مياه بحيرة كوشوك Kuchuk فى غرب سيبيريا وإلى نحو ٢٨٠ ملجم / لتر فى بحيرة والتون .

وقد أكدت الأبحاث المختلفة أن منسوب مياه بعض البحيرات يتغير من ساعة إلى أخرى خلال اليوم الواحد ، ومن زمن إلى آخر . ويطلق على التغير الوقتى فى منسوب المياه بالبحيرة تعبير Seiches ، وهى حركات مياه أشبه بحدوث عملية المد والجزر فى البحار . أما التغيرات الكبرى فى منسوب سطح البحيرة تبعاً لتعاقب فترات جافة أو فترات مطيرة رطبة فينجم عنها تغير شكل البحيرة وإعادة تشكيل المظهر الجيومورفولوجى لمنطقة البحيرة . فعدد إرتفاع منسوب مياه البحيرة ، تطفى البحيرة على الأرضى المجاورة لها وتغمرها بالمياه وتتسع مساحة البحيرة أما عند إنخفاض منسوب مياه البحيرة تتعرض للانكماش التدريجى وتترك خلفها مساحات تضاف إلى اليابس المجاور لها على شكل مدرجات بحيرية . وأعلى المدرجات هو دائماً أقدمها وأقل المدرجات منسوباً يمثل الشاطئ البحرى الحديث . وقد ساعدت بعض المدرجات البحرية علماء الآثار فى تتبع الحضارات البشرية القديمة ودراستها فى مواقعها بالمدرجات البحرية المتعاقبة القديم والحديث منها كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحرية فى منخفض الفيوم ( مدرجات بحيرة قارون ) ، والمدرجات البحرية فى حوض البحر الميت .

وعند حدوث العواصف والرياح الشديدة فوق المسطحات المائية

للبحيرات الكبيرة الحجم (مثل بحر قزوين والبحيرات العظمى الامريكية) تتكون الأمواج العالية ، وتتصرف الأخيرة تماماً كعمل أمواج البحر في صخور السواحل المجاورة لها .

ويمكن أن ندرك الفعل الذي تقوم به الأمواج البحرية وتغيرات مستوى سطح البحيرات وحنوث الانهيارات والهبوط عند شواطئ البحيرات بدراسة ما تتعرض له الخزانات المائية الاصطناعية من تغيرات . فمن دراسة الخزانات التي أقيمت على أنهار الفولجا والدنيبر والدين في الاتحاد السوفيتي يتضح أن شواطئ هذه الخزانات تتعرض لفعل التعرية وكثيراً ما تنهدم صخور شواطئ وتنجرف إلى قاع الخزانات . وعلى سبيل المثال تتراجع شواطئ خزان رابينسك Rabinisk بمعدل ٤ إلى ٥ م / سنة .

ومن بين أهم ما تقوم به البحيرات هو عملية خزن وتجميع المفتتات الارسابية فوق قاعها عاماً بعد آخر . وتختلف هذه المفتتات تبعاً لدرجة تخرس المنطقة التي تقع فيها البحيرة وتكوينات صخورها ومدى اتساع البحيرة ومتوسطات أعماقها . وعلى ذلك تختلف الرواسب البحرية في قاع بحيرات العروض المدارية عن تلك للتجمعة في قاع بحيرات العروض المعتدلة أو القطبية . وتقسم رواسب البحيرات كمثل رواسب البحار أما تبعاً لاختلاف النسيج الصخري للمفتتات الارسابية (خشنة إلى دقيقة الحجم جداً) وأما تبعاً لاختلاف مصادرها ( كيميائية وعضوية وقارية ) ، وتهتم الجيولوجيا الإقتصادية بدراسة البحيرات كذلك لاستغلال أملاحها ومعادنها وخاصة أملاح الهاليت والميرابليت Mirabilite ، والصودا ، والجبس ، وخام الحديد .

## المراجع

أولاً ، المراجع العربية

- حسن أبو العيثن ، كوكب الأرض ، الطبعة العاشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الإسكندرية (١٩٨٨) ص ٥٩٥ .

----- ، أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - ( ١٩٩٥ ) ص ١ - ٧٧٠ .

----- ، جغرافية البحار والمحيطات ، الطبعة التاسعة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الإسكندرية ( ١٩٩٦ )

----- ، لبنان - دراسة في الجغرافية الطبيعية ، بيروت ( ١٩٨١ ) ص ٦٨٥ .

----- ، أصول الجغرافية المناخية ، الاسكندرية - الطبعة السابعة (١٩٩٦) ص ٥٨٠ .

----- ، الألواح الجيولوجية ... ، كتاب مترجم - الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٨) ص ٢١٦ .

----- ، السهول الساحلية فيما بين رأس دبا وخور كلثا ، الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٩) نشرة رقم ١٢٢ ص ١-٨٨ .

----- ، الخليج العربي وتطوره الباليوجرافي .... ، الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٩) نشرة رقم ١٢٥ ص ١-٥١ .

----- ، حوض وادي دبا .... ، إدارة الأبحاث - جامعة الكويت (١٩٩٠) ص ١-٢٢٨ .

----- ، دولة الإمارات العربية المتحدة - دراسات وبحوث جغرافية ، دار صفا للنشر والتوزيع

عمان - الأردن (١٩٩٦) . ص ١ - ٦٨٠

- أ.د. حسن أبو العنين ، السهول الساحلية القريبة في دولة الإمارات ... ، ندوة الأبعاد الاقتصادية والبيئية للتنمية في مجلس التعاون لدول الخليج العربية - جامعة الإمارات - مارس ١٩٩٠ ص ١ - ١٤٦ بالإشتراك مع أ.د. أمل يوسف العذبي الصباح .

----- ، بعض الظواهر التركيبية الناشئة في جبل حفلات ، - الجمعية الجغرافية الكويتية - نشرة رقم ١٧٦ (١٩٩٥) ص ١ - ٥٦ .

----- ، مروة وادي بيج - دراسة جيومورفولوجية ، - الجمعية الجغرافية الكويتية - نشرة رقم ١٨٢ (أغسطس ١٩٩٥) ص ١ - ٦١ .

----- ، الخصائص الهيدرولوجية لمروحة وادي بيج وأثرها في التنمية الزراعية ، - الجمعية الجغرافية الكويتية - (١٩٩٦) .

- حسن صادق ، الجيولوجيا ، - الطبعة الثانية القاهرة ( ١٩٢٠ ) .

- فخرى موسى وآخرون ، الجيولوجيا الهندسية ، القاهرة - ١٩٦٨ .

- فيرنسيد ، و.ج. وبولمان أم ، الجيولوجيا ، الألف كتاب (٢١٧) - ترجمة محمد إبراهيم عطية .

- محمد صفى الدين ، قشرة الأرض ، - القاهرة ( ١٩٥٧ ) .

- محمد عبد الوهاب الشناوى ، مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور ، - دار المعارف - القاهرة ( ١٩٦٤ ) .

- محمد متولى موسى ، وجه الأرض ، - القاهرة ١٩٥٨ .

- يحيى محمد أنور ، ومحمد العربى فوزى ، الجيولوجيا ، القاهرة (١٩٦٥) .

ثانياً ، مراجع أجنبية مختارة

- 1- Abou el-Enin H.S.. " The geomorphology of the Moss Valley ", M.A. Thesis, Univ. Sheffield, (1962).
- 2- Abou el-Enin H.S.. " Some Periglacially surface forms.. ", Geographical Journal, Sheffield Univ. No5 (1962),3-7.
- 3- Abou el-Enin, H.S., " Some aspect of the drainage evolution of the Moss Vally ..." North Univ. Geographical Journal Birmingham Univ No.5 (1964),40-54.
- 4- Abou el-Enin, H.S., " An examination of the evolution of surface forms ... with a particular reference to the Quaternary Era ". Ph D' Thesis, Univ. Sheffield, (1964).
- 5- Abou el-Enin, H.S., " Glacial and associated features.. in southwest Yorkshire ", Bulletin of the Faculty of Arts, Alex. Univ. (1965).
- 6- Abou el-Enin, H.s., "Guesta Features ... in the Maghara District ... Morthern Sinai ", Bull, Soc. Geog. d'Egypt, Vol. (1967).
- 7- Antevs, E., " The Last Glaciation ", Amer. Geog. Soi ., Ns.17 (1928).
- 8- Bailey, E.B., " Sedimentation in relation to tectonics ". Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 47 (1946),1713-26.
- 9- Colin Ronan, " The Universe ", Oxford Press (1987)
- 10- Collier's Encyclopedia, N.Y (1991) Part7.

- 11- Colin Rpanan., " The Universe ", Oxford (1980).
- 12- Cook, R., Warren A., Gondie A., " Desert Geomorphology ",  
UCL Press (1993).
- 13- Cresswell, K.P., " Physical Geography" Longman (1972).
- 14- Davis, W.M., " Base level, grade and peneplain ", Jour Geol  
Vol. 10 (1902) 177-111.
- 15- Davis, W.M., " The geographical cycle " Geog Jour Vol.  
XIV(1899),481-504
- 16- Dixon, R.T. " Dynamic Astronomy " ,5th. edi, N Y (1989)
- 17- Don Lect and Judson, S., " Physical Geology " N Y (1965)
- 18- Door (Kamp, J.C " Observation on the developnemt of  
Cuestas " M.Sc Thesis, Univ Sheffield. (1962)
- 19- Gilluly J and Others, " Principles of Geology " . N Y (1965)
- 20- Hills, E.S., " Outlines of structural geology " London  
(1962).
- 21- Holmes, A., " Physical Geology ", London (1965).new  
edi.(1978).
- 22- Holmes, C.D., " Introduction to College Geology " ,  
M.U.(1962).
- 23- Horrocks, N.K., " Physical geog. and climatology ", London  
(1962).
- 24- King, L.C., " Morphology of the Earth ", Edinburgh, (1962).
- 25- Lang KB., " Wanderers in space ", Camb. Univ. Press  
(1991).

- 26- Lancaster, N., " The orientation of dunes ... ", *Acta. Mec.*2(1991), 89-102.
- 27- Lancastev, N., " sediment Volume ... " *Jour. Geoph. Res.*95 (1990) , 921-7.
- 28- Leys, J., " The erodibility of a range of soils ... ", *Acta, Mec. 2* (1991),103-112.
- 29- Linton, D.L., " Problems of the Scottish Scenery ", *Scot. Geog. Mag.*, Vol.63(1926). 13-27.
- 30-Linton, D. L., " Midland drainage ... " *Adv. Sc* 7 (1951), 449-456.
- 31- Lobeck, A.K., " Geomorphology an introduction to the study of Landscapes " , New York, (1939).
- 32- Longwell C. R. and others, " Outlines of Physical geology " , New York, (1947).
- 33-Maarleveld, G. C., " Glacial and periglacial landscape forms", *Tijd, koin. Ned. Acred gen.*, LXXVII,3(1960) 298-304. Amsterdam.
- 34- Maxon, J. H. and Anderson, G - H. " Terminology of Surface forms of the erosion cycle " , *Jour Geol . Vol.*43 (1935) 88-96.
- 35- Peel, R. F., " Physical geography " , London, (1952).
- 36- Phillips, J.D,etal., " Geomorphic Systems " , Elsevier, Amestrdam ( 1992 ).
- 37- Penck, W., " The morphological analysis of land forms " . Translated by Halla Czech and Katherine, C., Boswell, London (1955).

- 38- Peltier L. C., " The geographical cycle in periglacial regions ... " A.A.A.G., Vol. 40 (1960), 214-236.
- 39- Roberts N., " Ups and downs of African lakes ", Nature 346 (1990) P.107.
- 40- Rubin, D.M., " Lateral migration of linear dunes ... " E.S.P. and landforms 15 (1990) 11-14.
- 41- Sarre, R. D., " Evolution of aeolian sand transport ", Sedimentology 37 (1990) , 389-92.
- 42- Sabins, F.F., " Remote Sensing ", 2nd ed. N. Y. (1987).
- 43- Sissons, J.B., " The denudation chronology of the south west Yorkshire ", Ph. D. Thesis. Univ. Cambridge, (1953).
- 44- Sparks, B. W., " Geomorphology ", London, (1961).
- 45- Stamp D., " A glossary of geographical terms ", London, (1961).
- 46- Seers, A. J., " The unstable earth ", London (1961).
- 47- Stokes, W. L., and Judson, S. " Introduction to geology ", N.Y.(1968).
- 48- Thornbury, W.D., " Principles of geomorphology ", New York (1958).
- 49- Thornbury, W. D., " Regional geomorphology of the United States ", New York, Wiley (1965).
- 50- West, R.G., " The Ice Age ", Adv. Sci. Vol. 17 (1960)428-440.

- 51- Wooldridge, S. W., and Morgan, R. S., " Geomorphology", London, (1960).
- 52- Zeuner, F.E " Dating the Past ", London, (1950) 1st. edi.
- 53- Zeuner, F., " The Pleistocene Period ", London, (1950).
- 54- Zwolinski, Z., " Depositional mode for desert creek channels ", Zeitschrift fur Geom. 55 (1985)39-56.



## فهرس محتويات الكتاب

### رقم الصفحة

٤ - ٥

تقديم الطبعة الأولى

٦ - ٧

تقديم الطبعات الثانية

والثالثة والحادية عشرة

### الباب الأول

#### كوكب الأرض ونشأته

الفصل الأول : كوكب الأرض والمجموعة الشمسية : ١١ - ٩٦

الإنسان والكون - النجوم والكواكب والكويكبات - مدى  
البعد بين النجوم - مواقع النجوم - ألوان النجوم - لمعان  
النجوم - أحجام للنجوم - المجاميع النجمية والمجرات والسدم -  
الشمس - البقع الشمسية - الشمس هي مصدر الحرارة  
والضوء على سطح الأرض - قرص الشمس المخفى الفوتوسفير  
- الغلاف الغازى الشمسى - الإكليل الشمسى - كواكب  
المجموعة الشمسية - أسطح الكواكب - الغلاف الغازى الشمسى  
- الإكليل الشمسى - كواكب المجموعة الشمسية وخصائصها  
العامة - أسطح الكواكب - الغلاف الغازى للكواكب - الشهب  
والنيازك والمذنبات - تعدد الكون .

رقم الصفحة

١٢١ - ٩٧ الفصل الثاني : نشوء الكون وكوكب الأرض

تطور الفكر البشري حول نشأة الكون - الفلسفة الطبيعية  
- المدرسة الفكرية الإيلية - المدرسة الفيثاغورثية - مدرسة  
التصورات العقلية ، سقراط - أفلاطون - أرسطو - الآراء في  
العصور الوسطى - نيكولاس كوبرنيكوس - كبلر - جاليليو -  
نظرية الجاذبية لنيوتن - نظريات لابلاس - توماس تشمبرلين  
- فورست مولتن ، هارولد جيفريز وجيمس جينز - سبترز -  
سمارت - نظرية الشمس التوأمية - نظرية فايسكر حول  
السحب السديمية - نظرية ميلاد النجوم الجديدة - نظرية  
الانفجارات النووية - الزمن الفلكي لميلاد كوكب الأرض .

١٢٢ - ١٤٧ الفصل الثالث : الأغلفة الكبرى التي يتألف منها

كوكب الأرض :

الغلاف الهوى : (مكوناته وطبقاته) طبقة التروبوسفير -  
طبقة الأستراتوسفير - طبقة  
الأيونوسفير .

الغلاف المائى : مساحة للسطحات المائية - حجم المياه على  
كوكب الأرض - المياه الأولية ونشأة مياه  
البحار .

الغلاف الصخرى : قشرة الأرض - الأنتوسفير - خصائص  
الأنتوسير الجيوديناميكية - باطن الأرض  
- العمود الجيولوجى لقشرة الأرض .

الباب الثاني

التركيب الصخرى لقشرة الأرض

١٥٠ - ١٨٧ الفصل الرابع : المعادن

تمييز المعادن - الخواص الطبيعية للمعادن - الشكل

رقم الصفحة

البلورى - التراكيب والتجمعات البلورية - اللون - البريق -  
المخدش - الصلابة - التشقق - المكسر - الثقل النوعى - درجة  
الشفافية - قوة الانعطافيسية - المنطق - إدراك المعدن - الرائحة -  
الليونة والمرونة - قابلية الطرق والسحب .

اهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض ونماذج لها -  
الذهب - جالينا - الهاليت - الكوارتز - الكالسيت - الجبس -  
الأباتيت - الأوليفين - الهورنبلند - الميكا - الفلسبار  
الأورثوكلازى - الفلسبار الهلاجيوكلازى الأحجار الكريمة

١٨٩ ٢٦٨

الفصل الخامس : الصخور

مجموعات الصخور والنورة الصخرية .

أولاً : الصخور النارية : الخصائص الطبيعية العامة للصخور  
النارية - اللون - الثقل النوعى - النسيج الصخرى -  
التركيب المعدنى للصخور النارية تكوين الصخور  
النارية ونشأتها - عملية التبلور الصخرى - بعض  
الحالات التى توجد عليها الصخور النارية فى الطبيعة  
- تصنيف الصخور النارية وبعض نماذج لأنواعها  
المختلفة

ثانياً : الصخور الرسوبية : تكوين الصخور الرسوبية  
وعملية ترسيب مفتقاتها الصخرية - البيئات  
الترسيبية للصخور - الخصائص العامة للصخور  
الرسوبية والحالات التى توجد عليها فى الطبيعة -  
النسيج الصخرى - تصخير الرواسب ( اللحم  
والتماسك والتجفيف الصخرى ) طباقية الصخور  
الرسوبية . - الطبقات الصخرية - أشكال الطبقات  
الصخرية - ميل الطبقات ومضرب الطبقات -  
الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة - التطابق الكاذب -  
علامات التماوج - طابع نقط الأمطار - التشققات

رقم الصفحة

الطينية - العقيديات الصخرية - الحفريات - تصنيف  
الصخور الرسوبية وبعض نماذج لأنواعها المختلفة .

ثالثاً : الصخور المتحولة : الخصائص العامة للصخور  
المتحولة - التركيب المعدني - عمليات التحول  
الصخري وأسبابها - أنماط التحول الصخري -  
نماذج لبعض الصخور المتحولة .

### الباب الثالث

القوى التي تلحق في تعديل سطح الأرض

مقدمة : هرمات التوازن الأيذوستاتيكي للأرض ٢٧٦ - ٢٧١

الفصل السادس : القوى الداخلية الجيائية السريعة ٢٤٦ - ٢٧٧

أولاً : الزلازل : نشأة الزلازل - السينيوموجراف والموجات  
الزلزالية - المركز الداخلي والمركز السطحي للزلازل  
وتصديق قوته - التأثير الناتج عن حدوث الزلازل  
العنيفة - والتوزيع الجغرافي للزلازل .

ثانياً : البراكين : شكل المخروط البركاني - المواد التي تنبثق  
من البراكين - أشكال المخروطات البركانية - أشكال  
الثورات البركانية - بعض الظواهر الأخرى التي  
تصاحب حدوث البراكين - التوزيع الجغرافي  
للبراكين .

ثالثاً : الانفورات والينابيع الحارة : تعريف - مصادر مياه  
الانفورات الحارة - أسباب ارتفاع درجة حرارة مياه  
الانفورات والينابيع الحارة - أنواع الانفورات الحارة  
ومظاهرها العامة - التوزيع الجغرافي للانفورات  
والينابيع الحارة في العالم .

رقم الصفحة

### الفصل السابع : القوى الدخلية التكوينية الباطنية ٣٤٧ - ٣٧٥

أولاً : الإلتواءات : ( حركات الشنى والطى ) - عناصر الثنية للحدبة - أشكال الثنيات أو الطيات - الثنيات وعوامل التعرية .

ثانياً : الصدوع : ( الإنكسارات ) - تعريف - أجزاء الصدع وعناصره - أنواع الصدع - كيفية تمييز الصدوع فى الحقل - الصدوع والظواهر التضاريسية لسطح الأرض .

### الفصل الثامن : القوى الخارجية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض ٣٧٦ - ٤٣٠

أولاً : فعل التجوية : التجوية الميكانيكية - التجوية الكيميائية .  
ثانياً عوامل التعرية : ١ - المياه الجارية السطحية .  
٢ - المياه الجوفية . ٣ - فعل الرياح فى الصحارى الحارة  
الجافة . ٤ - فعل البحر . ٥ - فعل الجليد .

### المباب الرابع

بعض الأشكال والظواهر التضاريسية

الكبرى لسطح الأرض

### الفصل التاسع : توزيع اليابس وتكوين القارات فى ضوء نظرية

الألواح ( الصفائح ) الجيولوجية . ٤٣٢ - ٤٧٩

أشكال المحيطات ومساحاتها وأحجامها - المنحنى الهيبسوغرافى لسطح الأرض - نشأة المحيطات وتفسير أختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء - النظريات القديمة - النظرية التتاريميدية - نظرية زحزحة القارات - آراء فجنر - نظرية أنسلاخ القمر عن وجه الأرض - نظرية الصفائح أو الألواح

رقم الصفحة

الجيولوجية - بنية الألواح الجيولوجية - حدود الألواح  
الجيولوجية وأبعادها - حركة الألواح الجيولوجية وميكانيكيتها -  
الألواح الجيولوجية المتفرقة - الألواح الجيولوجية المتجمعة -  
تكوين القارات وتطور نموها .

**الفصل العاشر: الكتلة القارية المستقرة ومناطق الضعف**

**الجيولوجية غير المستقرة .** ٤٨٠ - ٥٢٣

تعريف - أولاً : الكتلة القارية المستقرة جيولوجياً -  
وخصائصها العامة - الكتلة اللورنثية القديمة كنموذج دراسي  
- ثانياً : مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة - الأحواض  
البحرية القديمة الجيولوجية - حركات الرفح التكتونية الكبرى  
خلال الأزمنة الجيولوجية - نشأة السلاسل الجبلية - نظرية  
التيارات الحرارية الصاعدة - المظهر الجيولوجي العام لبعض  
الجبال الإلتوائية - مرتفعات الأبالاش - مرتفعات الألب .

**الفصل الحادي عشر : الجبال والتلال والهضاب** ٢٤٥ - ٥٤٤

**الجبال : تعريف - مجموعات الجبال**

**التلال : تعريف - نشأة التلال وتصنيفها .**

**الهضاب : تعريف - مجموعات الهضاب .** ٥٤٦ - ٥٦٨

**الفصل الثاني عشر : السهول**

تعريف السهول - تصنيف مجموعات السهول - السهول  
الصخرية - السهول التحاتية - السهول التي تتكون بفعل المياه  
الجارية - السهول الفيضانية - السهول الدلتاوية - السهول التي  
تتكون بفعل البحر - السهول التي تتكون بفعل الجليد .

**الفصل الثالث عشر : الجزر** ٥٧٠ - ٥٩٢

تعريف - تصنيف الجزر - الجزر البركانية - الجزر القارية -  
الجزر المرجانية .

رقم الصفحة

٦٢١ - ٥٩٤

#### الفصل الرابع عشر : البحيرات

تعريف - نشأة البحيرات وأهم بحيرات العالم - تصنيف  
البحيرات - تقسيم كوليه - تقسيم بروفكين  
وهوجوسلوفيسكى - تقسيم فيليب ليك - مجموعات البحيرات  
- بحيرات تتكون بفعل الإرساب - بحيرات تتكون بفعل التعرية  
والتجوية الكيميائية - بحيرات تتكون بفعل الحركات التكتونية  
- الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحيرات .

٦٢٣ - ٦٢٢

المراجع العربية

٦٢٨ - ٦٢٤

المراجع الأجنبية

٦٣٧ - ٦٣٠

فهرس محتويات الكتاب

رقم الايداع ٩٦ / ١٠٧٢٠

التوثيق الكولي

٩٧٧ - ٥٠٠٩ - ٢٩ - ٤







تم بحمد الله عمل فصل ألوان  
الخلاف وجميع الأعمال الفنية  
الملونة الداخلية ذات المستوى  
الرفيع بمطبعة الانتصار

مطبعة الانتصار  
ELENTOR press غلاف

١٠ ش الوردي كوم الدكة - ت : ٤٩١٦٥٩٧